



**Pedro Daniel Marques
Figueiredo Antão**

**Cadeira de Rodas Eléctrica Adaptada a
Tetraplégicos**





**Pedro Daniel Marques
Figueiredo Antão**

**Cadeira de Rodas Eléctrica Adaptada a
Tetraplégicos**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Electrónica e Telecomunicações, realizada sob a orientação científica do Doutor Arnaldo Oliveira, Professor do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro e da Mestre Maria Margarida Urbano, Professora da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Águeda

o júri / the jury

presidente / president

Prof. Doutora Maria Beatriz Alves Sousa Santos

Professora Associada com Agregação da Universidade de Aveiro

vogais / examiners committee

Prof. Doutor José Carlos Meireles Monteiro Metrôlho

Professor Adjunto da Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco

Prof. Doutor Arnaldo Silva Rodrigues de Oliveira

Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro (orientador)

Mestre Maria Margarida Carreira Pires Urbano

Professora Adjunta da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Águeda (co-orientadora)

**agradecimentos /
acknowledgements**

Aos meus orientadores, Arnaldo Oliveira e Maria Margarida Urbano, pela sua disponibilidade, por todo o apoio científico e técnico na orientação deste trabalho.

Aos professores José Alberto Fonseca, José Luís Azevedo e Valter Silva, pela ajuda prestada à conclusão deste trabalho.

Aos meus pais, Manuel e Maria Augusta, pelo apoio incondicional e encorajamento, pois sem eles esta caminhada dificilmente se teria concretizado.

À minha irmã, Carina, pela companhia, compreensão e motivação em todos os momentos deste percurso.

À Diana Oliveira, um especial agradecimento, pela ajuda, motivação e companheirismo prestado ao longo destes anos.

A todos os meus amigos e familiares que de alguma forma, directa/indirectamente, apoiaram-me e/ou acompanharam-me nesta caminhada.

A todas estas pessoas, o meu muito obrigado!

Palavras-chave

cadeira de rodas inteligente, cadeira de rodas eléctrica, controlo de cadeiras de rodas, sistemas anti-colisão, desvio de obstáculos, sensor de ultra-sons, interface homem-máquina, *controller area network*, *DXBus*

Resumo

A mobilidade e a independência são dois requisitos fundamentais para uma boa qualidade de vida. Existe, no entanto um determinado número de pessoas que por terem sofrido lesões graves ao nível da coluna cervical, perderam capacidades físicas que afectaram estes dois requisitos. Estas pessoas são denominadas de tetraplégicas e necessitam de uma cadeira de rodas para se conseguirem mover. Na maioria dos casos não conseguem manipular a cadeira de rodas manual, desta forma, necessitam de uma cadeira de rodas eléctrica comercial onde o único interface entre a cadeira e o utilizador é o *joystick*. Isto pressupõe que o utilizador tenha de possuir destreza para o operar, o que nem sempre acontece.

Esta dissertação discute e implementa a introdução de mecanismos para adaptar uma cadeira de rodas eléctrica comercial, com o intuito de facilitar a sua manipulação por parte de pessoas tetraplégicas com força reduzida nos braços e mãos.

Pretende-se assim adaptar uma cadeira de rodas eléctrica comercial de forma a que a interacção entre o utilizador e a cadeira seja apenas a necessária. Desta forma, será implementado um novo modelo de adaptação da cadeira, o modo *Legacy Adapted Mode* (LAM). Pretende-se também que o custo de implementação do novo modelo seja relativamente baixo, de forma a que a cadeira seja acessível do ponto de vista económico.

O modo LAM permite que o utilizador comande a cadeira com uma reduzida interacção com o *joystick*, ou seja, o utilizador não necessita de manter o *joystick* deflectido para a movimentar, basta apenas dar um impulso ao *joystick* e a cadeira inicia o movimento.

A cadeira de rodas que servirá de base à implementação é uma cadeira de rodas eléctrica comercial que possui dois módulos em comunicação, (o módulo do *joystick* e o módulo de potência) que comunicam entre si através de uma rede de comunicação baseada em CAN.

Com base na arquitectura existente, pretende-se incorporar na rede um novo módulo de intercepção do barramento. Este módulo irá efectuar a captura das mensagens para manipulação do seu campo de dados, de acordo com as especificações do modo LAM, e as retransmitirá posteriormente para o módulo de destino, *bridging* das mensagens.

Foram implementados dois modos de *bridging* das mensagens, *Event Triggered* e o *Time Triggered*, no entanto apenas o *Time Triggered* cumpre os *timings* na sequência das mensagens.

O modo LAM foi implementado e foram efectuados alguns testes relativamente ao controlo da cadeira, entre os quais a condição de início de movimento, a condição de paragem e a condição de rotação da cadeira.

Keywords

smart wheelchair, powered wheelchair, wheelchair control, anti-collision system, obstacle avoidance, ultrasound sensor, human-machine interface, controller area network, DXBus

Abstract

Mobility and independence are two fundamental requirements for a good quality of life. There is however a number of people who have suffered serious injuries at the cervical spine, resulting in loss of physical abilities which affected these two requirements. These are paraplegic people and they rely on a wheelchair for movement. In most cases they aren't able to handle a manual wheelchair, so they need a commercial electric wheelchair where the only interface between the chair and the user is the joystick. However this implies that the user has enough dexterity to properly operate it, which does not always happen.

This thesis discusses and implements the introduction of mechanisms to adapt a commercial powered wheelchair in order to ease its manipulation by paraplegic people with reduced strength in arms and hands.

The main goal is to adapt the chair so that the interaction between the user and the chair requires the least effort possible. Thus a new adjusting model will be implemented to the chair, the Legacy Adapted Mode (LAM). However this implementation must come with the lowest cost possible to maintain an economically affordable chair.

LAM mode allows the user to command the chair with a reduced interaction with the joystick, ie the user does not need to keep the joystick deflected, a single boost to the joystick and the chair starts moving.

The wheelchair used as basis for the implementation of the proposed work has two commercial modules (joystick and power module) which communicate through a communication network based on the CAN protocol.

Based on the existing architecture, a new module will be incorporated on the network bus. This module will capture messages, manipulate their data field according to the LAM specifications and retransmit them to the destination module.

Event and Time Triggered based bridging protocols were implemented, however only the latter meets the message timing requirements.

LAM mode has been implemented and some control tests were conducted on the chair, including the start of movement, stop condition and chair rotation.

Conteúdo

Conteúdo	i
Lista de Figuras	iii
Lista de Tabelas	v
Lista de Acrónimos	vii
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Motivação	3
1.3 Objectivos	5
1.4 Organização da Dissertação	5
2 Cadeiras de Rodas Eléctricas	7
2.1 Cadeiras de Rodas Eléctricas Comerciais	7
2.1.1 FDX Front-Wheel Drive Power Wheelchair	8
2.1.2 X850 Corpus	8
2.1.3 Puma	9
2.2 Cadeiras de Rodas Eléctricas de Investigação	10
2.2.1 Robchair	10
2.2.2 Navchair	12
2.2.3 Wheelesley	13
2.2.4 TAO Aicle	14
2.2.5 SIAMO	16
2.2.6 Conclusão	19
2.3 Proposta de Adaptação de Cadeira de Rodas Eléctrica Comercial	20
3 Sensores para Cadeiras de Rodas	21
3.1 Sensores de Proximidade e Detecção de Obstáculos	21
3.1.1 Sensores de Ultra-Sons	21
3.1.2 Sensores de Infra-Vermelhos	22
3.1.3 Sensores Laser	23
3.1.4 Sistema de Visão (Omnidireccional)	23
3.2 Interfaces Homem-Máquina	24
3.2.1 Sistema de Reconhecimento de Voz	24
3.2.2 <i>Joysticks</i>	25

3.3	Conclusão	25
4	Especificação do Sistema	27
4.1	Princípio de Funcionamento	27
4.2	Parametrização do Modo LAM	32
4.2.1	Parâmetros e Variáveis de Estado	32
4.3	Arquitetura de Referência	35
5	Implementação Base	37
5.1	Plataforma Base e Modificação	37
5.2	Possíveis Abordagens	38
5.3	Análise do Comportamento do DXBus	39
5.3.1	Objectivos	39
5.3.2	Ferramentas Necessárias	39
5.3.3	Resultados	40
5.4	Adaptação da Plataforma	45
5.4.1	Descrição do <i>Hardware</i>	45
5.4.2	<i>Bridging Event Triggered</i>	47
5.4.3	<i>Bridging Time Triggered</i>	49
6	Avaliação e Resultados	55
6.1	Modos de <i>Bridging</i>	55
6.2	Ultra-sons	57
7	Conclusões e Trabalho Futuro	59
7.1	Conclusão	59
7.2	Trabalho Futuro	59
A	Implementação do Sistema de Ultra-sons	61
A.1	Cálculo da Distância	62
A.2	Número de Sensores e Método a Utilizar	62
B	Placa de Desenvolvimento com 2 Controladores CAN	65
C	Esquema Eléctrico para Alimentação	67
D	Esquema Eléctrico para Alimentação com Circuito de Comparação	69
	Bibliografia	71

Lista de Figuras

1.1	Lesão ao nível da medula.	1
1.2	Arquitectura típica de uma cadeira de rodas eléctrica comercial.	4
1.3	Arquitectura proposta para a cadeira de rodas eléctrica adaptada	4
2.1	FDX Front-Wheel Drive Power Wheelchair	8
2.2	X850 Corpus	9
2.3	Puma	9
2.4	Robchair	10
2.5	Diagrama de blocos da arquitectura da Robchair	11
2.6	Navchair	12
2.7	Diagrama de blocos da arquitectura da NavChair	13
2.8	Wheelesley	14
2.9	TAO Aicle	15
2.10	Diagrama de blocos do controlador de viagem autónomo da TAO Aicle	16
2.11	SIAMO	17
2.12	Diagrama de blocos da arquitectura da SIAMO	18
3.1	Sensores de Ultra-Sons	22
3.2	Sensor de Infra-Vermelhos	23
3.3	<i>Stereo Omni-directional System</i> (SOS)	24
4.1	Máquina de estados finitos do modo de operação LAM	28
4.2	Ilustração de como iniciar o movimento da cadeira	29
4.3	Ilustração de como mudar de direcção	29
4.4	Aumento gradual da velocidade	30
4.5	Diminuição gradual da velocidade	31
4.6	Decremento gradual da velocidade com 3 intervalos	31
4.7	Escalonamento da velocidade da cadeira em função da distância ao objecto .	32
4.8	Máquina de estados finitos do modo de operação LAM	34
4.9	Arquitectura da APW	35
5.1	Arquitectura da cadeira de rodas eléctrica comercial	37
5.2	Tratamento dos sinais ao nível analógico	38
5.3	Ponto de inserção do módulo de <i>bridging</i>	39
5.4	PCAN-USB, módulo de interface entre USB e CAN	40
5.5	Procedimento para captura das mensagens	41
5.6	Fluxo das mensagens	41

5.7	Pontos de captura das mensagens	42
5.8	Condição de “ <i>power up</i> ” da cadeira	43
5.9	Procedimento para obtenção da precedência e dos instantes temporais das mensagens	44
5.10	Esquematização da sequência de mensagens	46
5.11	Circuito de comparação e <i>switches</i> SPDT na comutação do barramento . . .	47
5.12	Tráfego das mensagens no barramento	48
5.13	<i>Time-line</i> das mensagens no barramento original	48
5.14	<i>Time-line</i> das mensagens aquando da inserção do módulo de <i>bridging</i>	48
5.15	Fluxograma do funcionamento do <i>bridging time triggered</i>	50
5.16	Esquematização da sequência de mensagens	51
6.1	Procedimento utilizado para garantir o funcionamento do módulo de <i>bridging</i>	55
6.2	Teste ao módulo de <i>bridging</i>	56
6.3	Procedimento da realização do movimento de rotação	57
A.1	Módulo SRF05	62
A.2	Diagrama temporal para o primeiro modo de funcionamento	63
A.3	Disposição dos sensores na cadeira	63
B.1	Esquema eléctrico da placa dsPIC 30F6012a com 2 controladores CAN	65
C.1	Esquema eléctrico para alimentação da placa dsPIC e dos <i>switches</i> SPDT através das baterias, assim como das ligações ao barramento para as comutações	67
D.1	Esquema eléctrico para alimentação da placa dsPIC e dos <i>switches</i> SPDT através das baterias, assim como das ligações ao barramento para as comutações e circuito de comparação	69

Lista de Tabelas

2.1	Características das cadeiras de rodas eléctricas inteligentes mencionadas na secção 2.2	19
4.1	Condições de transição entre os diversos estados	34
5.1	Mensagens enviadas através barramento	41
5.2	Mensagem com ID 0x40 nas diversas posições	42
5.3	Time stamping das mensagens no barramento	45
5.4	Periodicidade das mensagens no barramento	52
6.1	Medição da distância ao obstáculo	57

Lista de Acrónimos

ADC	Analog-to-Digital Converter
APW	Assistive Powered Wheelchair
ATM	Autonomous Transfer Mode
AWF	Automatic Wall Following
CAN	Controller Area Network
CCD	Charge-Coupled Device
DAC	Digital-to-Analog Converter
DOS	Disk Operating System
DP	Door Passage
EEPROM	Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory
EOG	Electro-oculography
ESP	Electronic Steering System
FSM	Finite-State Machine
FWD	Front-Wheel Drive
GOA	General Obstacle Avoidance
GPS	Global Positioning System
HMI	Human-Machine Interface
LAM	Legacy Adapted Mode
LDS	Laser Distance Sensor
LPL	Localization and Positioning Landmarks
MAB	Message Assembly Buffer
MCA	Módulo de Controlo Adaptado

NV	Network Variable
PDA	Personal Digital Assistant
PSJ	Position Sensing Joystick
RFID	Radio-Frequency IDentification
RWD	Rear-Wheel Drive
SaTM	Semi-autonomous Transfer Mode
SNR	Signal-to-Noise Ratio
SOS	Stereo Omni-directional System
SPDT	Single-Pole, Double Throw
SPI	Serial Peripheral Interface
USB	Universal Serial Bus

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento

Actualmente, a quantidade de pessoas que sofrem lesões graves ao nível da coluna cervical tem aumentado de dia para dia, devido a acidentes de viação, trabalho, entre outras razões. A estas pessoas chamamos tetraplégicos.

Existem estudos estatísticos que revelam um aumento do número de acidentes de viação em 2001 [EST10a] e 2007 [EST10c] apesar do número de vítimas mortais ter diminuído. Através dos dados obtidos, verifica-se que o número de acidentes de viação em Portugal em 2001 foi de 42 521 que resultou em 1 316 mortes e que em 2007 o número de acidentes de viação subiu para 47 172, no entanto só se registou um total de 854 mortes. Da mesma forma, verifica-se um aumento do número de acidentes de trabalho [dEeP10] entre 2004 e 2008, apesar de entre 2002 e 2003 ter havido uma diminuição significativa do número de acidentes. Em 2004 houve registo de 234 109 acidentes resultando em 306 acidentes mortais. Em relação a 2008, o número de acidentes de trabalho subiu para os 240 018, no entanto o número de acidentes mortais diminuiu para 231.

A tetraplegia ou quadriplegia resulta de uma lesão ao nível da medula acima da primeira vértebra torácica, podendo afectar os nervos da coluna cervical, figura 1.1. Por este facto, a lesão tem como consequência a paralisia completa ou parcial dos braços, bem como a paralisia completa das pernas.

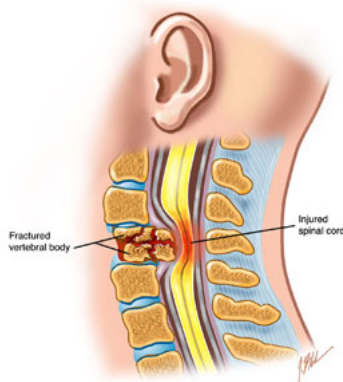


Figura 1.1: Lesão ao nível da medula.

O doente tetraplégico necessita de cuidados permanentes ao longo da sua vida, dado que fica sem capacidades motoras suficientes que lhe garantam uma vida autónoma. Assim, necessita do auxílio de outras pessoas ou meios, não só para lhe assegurar uma certa mobilidade, mas também para realizar os actos quotidianos necessários à sua sobrevivência. A reduzida mobilidade resulta numa diminuição de oportunidades para os tetraplégicos, para explorar e socializar, o que pode levar ao isolamento social e à depressão. Através da análise da população com deficiência, CENSOS 2001 [EST10b], verifica-se que 6,1% da população possui algum tipo de deficiência. Actualmente e com os dados apresentados a cima é muito provável que este número tenha aumentado.

A mobilidade e a independência são dois requisitos fundamentais para uma boa qualidade de vida. A tecnologia de reabilitação representa possivelmente a maior ferramenta na ajuda aos problemas da vida quotidiana das pessoas debilitadas. Existem centros de reabilitação, tais como o Centro Medicina e Reabilitação da Região Centro – Rovisco Pais na Tocha, para pessoas incapacitadas que têm como objectivo não só a reabilitação do doente, mas também a adaptação ao seu novo estilo de vida.

Ao longo do tempo a tecnologia de reabilitação tem evoluído de forma a melhorar o dia-a-dia destas pessoas, para que possam ter um estilo de vida comum e um determinado grau de independência por parte da intervenção de outras pessoas. Ou seja, existe uma preocupação constante por parte de alguns grupos sociais para que estas pessoas se tornem independentes e autónomas, despertando nelas um sentimento de auto-confiança e optimismo. O tipo de tecnologias envolvidas variam de tetraplégico para tetraplégico, uma vez que estes dependem do tipo de patologia que cada um possui. Como na maioria dos casos os tetraplégicos não possuem capacidades físicas para utilizarem cadeiras de rodas manuais, estes necessitam de cadeiras de rodas eléctricas. O *joystick* é um primeiro interface de ligação entre o tetraplégico e a cadeira de rodas comercial, o que implica que o tetraplégico tenha que possuir capacidades motoras suficientes para conseguir interagir com a cadeira de uma forma segura.

O uso de uma cadeira de rodas eléctrica, pode em muitos dos casos superar grandes obstáculos presentes na vida destas pessoas e integrá-las no meio social de forma a terem uma vida normal. No entanto, para outro tipo de pessoas com maior nível de incapacidade, a simples cadeira de rodas eléctrica não resolve as suas dificuldades de mobilidade.

Um estudo publicado em [FLBS00] indica que 9 a 10% dos pacientes de 200 clínicos que recebem treino em cadeiras de rodas eléctricas, possuem um elevado nível de dificuldade em manipulá-las para actividades do dia-a-dia. Em relação às tarefas de condução da cadeira o número sobe para 40%. O estudo também revela que 85% dos clínicos afirmam que em cada ano alguns pacientes deixam de conseguir utilizar a cadeira de rodas eléctrica, uma vez que perdem habilidades motoras, força ou acuidade visual. Metade dos pacientes não estão aptos a controlar uma cadeira de rodas eléctrica pelos métodos convencionais. Desta forma, existem diferentes tipos de cadeiras de rodas eléctricas com diferentes níveis de funcionalidade de forma a adaptarem-se a qualquer tipo de utilizador. Por exemplo, uma pessoa paraplégica consegue manipular com facilidade o *joystick* convencional de uma cadeira de rodas, no entanto, uma pessoa tetraplégica necessita de outros métodos para manipular a cadeira. Hoje em dia, existem vários interfaces, tal como *joysticks* especiais, comandos de voz, movimentação da cabeça, entre outros para operar a cadeira de rodas eléctrica. Enquanto que para pessoas paraplégicas operar com um *joystick* convencional é uma tarefa relativamente fácil de manipular, para pessoas tetraplégicas, mesmo com *joysticks* especiais, o controlo da cadeira pode ser uma tarefa bastante complicada. Nestes casos a cadeira deverá possuir uma interface adaptada ao utilizador e módulos de navegação, que lhe permite a detecção de obstáculos e

imobilizar-se se necessário, de forma a garantir a segurança do utilizador.

Apesar da tecnologia utilizada em cadeiras de rodas eléctricas ter sido transferida de robôs móveis (*hardware* e *software*) o sistema é no entanto um pouco diferente. O que se pretende com os robôs móveis é que estes possuam capacidade total de navegação autónoma. No caso das cadeiras de rodas eléctricas inteligentes, pretende-se que a navegação da cadeira seja partilhada entre o utilizador e o controlador da cadeira. Este sistema tem de inspirar confiança ao utilizador, de forma a que este se sinta seguro e confortável. Estes dois requisitos devem ser considerados como requisitos básicos no projecto de uma cadeira de rodas inteligente.

Apesar de já existirem múltiplos interfaces e métodos de controlo sofisticados, pessoas com deficiências graves ainda não conseguem controlar a cadeira de rodas em espaços limitados, como uma casa ou mesmo no local de trabalho.

Neste trabalho pretende-se implementar uma nova arquitectura para uma cadeira de rodas eléctrica assistida¹(APW), a fim de proporcionar um controlo eficaz e seguro da cadeira para pessoas que não possuem força suficiente para operar com o *joystick*. Esta implementação, baseia-se no modo de operação LAM (*Legacy Adapted Mode*) [UFNF08] que é um modo adaptado do modo de funcionamento original da cadeira (*Legacy*). Desta forma, proporciona-se um maior nível de independência e uma maior facilidade no comando da cadeira de rodas eléctrica. Apesar de criar um novo modelo de interface de navegação, o interface com utilizador continuará a ser o *joystick*, uma vez que o estudo publicado em [FLBS00] revela que 95% dos utilizadores de cadeiras de rodas eléctricas a manipulam através do *joystick*, e que interfaces mais sofisticados não são aceites pelos utilizadores, talvez por serem ineficientes e mais complicados de utilizar. Este projecto enquadra-se numa área que actualmente está em forte expansão, dado o forte impacto que a aplicação da tecnologia tem no aumento da qualidade de vida de pessoas com deficiência.

1.2 Motivação

A utilização de uma cadeira de rodas pode levar uma pessoa incapacitada a ter uma vida social normal. Existem vários tipos de incapacidades, assim, os diferentes níveis de funcionalidade dos sistemas de cadeiras de rodas eléctricas devem estar em conformidade com os mesmos, permitindo a estas pessoas desfrutar de um estilo de vida normal e autónomo como uma pessoa dita normal.

Este trabalho centra-se na adaptação de uma cadeira de rodas eléctrica comercial, numa cadeira de rodas eléctrica adaptada para pessoas com reduzida mobilidade nos membros superiores. A solução idealizada permitirá que estas pessoas sejam capazes de conduzir a cadeira de rodas sem exercerem uma força contínua no *joystick*, uma vez que a manutenção da deflexão do *joystick*, mesmo por momentos, pode ser um movimento impraticável para estes doentes e pode levá-los à exaustão em escassos minutos. Tal facto foi observado aquando da realização do teste de simulação apresentado em [UFNL09].

Esta adaptação será efectuada com base numa cadeira de rodas eléctrica comercial cujo esquema de controlo está representado na figura 1.2, através da inserção de alguns módulos de *hardware* e *software* indicados na figura 1.3.

Cada módulo de selecção estará incumbido de seleccionar qual o controlador que irá comandar a cadeira, o Módulo de Controlo Original ou o Módulo de Controlo Adaptado. Se o módulo seleccionado for o Módulo de Controlo Original, o *joystick* comandará a cadeira

¹Definido do acrónimo em Inglês: Assistive Powered Wheelchair

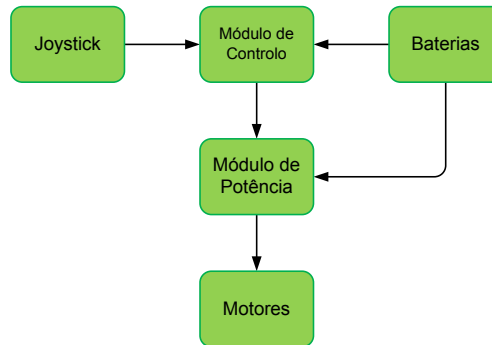


Figura 1.2: Arquitectura típica de uma cadeira de rodas eléctrica comercial.

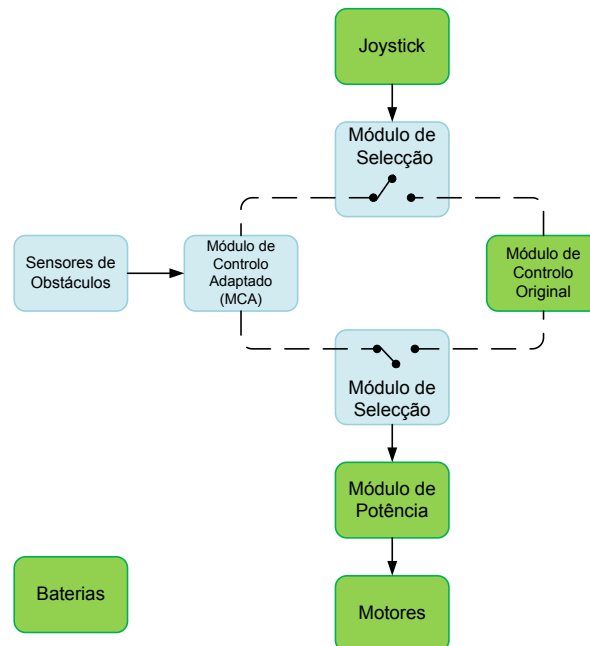


Figura 1.3: Arquitectura proposta para a cadeira de rodas eléctrica adaptada

conforme as especificações de origem, se for o Módulo de Controlo Adaptado, a interpretação dos sinais provenientes do *joystick* terão de ser interpretados de acordo com as capacidades motoras do utilizador. Contudo, devido à incapacidade por parte do utilizador de conseguir manipular o *joystick* de uma forma rápida e precisa, a cadeira necessitará de incorporar um sistema de detecção de obstáculos (apêndice A). Este sistema deverá ser responsável pela selecção da velocidade ² que será de acordo com a distância ao obstáculo mais próximo, e pela condição de paragem em segurança, caso o utilizador não a consiga imobilizar no tempo devido.

Pretende-se com isto facilitar a interacção com a cadeira por parte destes utilizadores proporcionando uma condução mais segura e um menor desgaste.

A manutenção do Módulo de Controlo Original, deve-se ao facto de os utilizadores encontrarem-se em fase de reabilitação, podendo contudo um dia mais tarde estarem aptos a controlar a cadeira autonomamente, sem adaptações. Pretende-se também que o modo de controlo da cadeira, modo LAM, funcione como um possível método de fisioterapia, para que de futuro o utilizador possua um maior grau de liberdade das mãos e braços, assim como uma maior autonomia.

1.3 Objectivos

Este trabalho tem como principais objectivos:

- Adaptar uma cadeira de rodas eléctrica comercial numa cadeira de rodas eléctrica assistida.
- Melhorar segurança e conforto do utilizador.
- Dotar a cadeira de mecanismos para detectar e evitar obstáculos.
- Implementar o modo de operação LAM.
- Permitir uma fácil interacção entre o utilizador e a cadeira.
- Dotar o projecto com os dois modos de operação, *Legacy* e o LAM.
- Tornar o protótipo final acessível do ponto de vista económico.
- Ajudar a reabilitação do utilizador.

1.4 Organização da Dissertação

Esta dissertação encontra-se organizada da seguinte forma:

- **Capítulo 2 — Cadeiras de Rodas Eléctricas** – neste capítulo é efectuado um levantamento de algumas das cadeiras de rodas eléctricas comerciais, bem como o levantamento de alguns projectos de cadeiras de rodas eléctricas de investigação.

²Uma vez que no modo de controlo original da cadeira, a selecção da velocidade é efectuada de acordo com o ângulo de deflexão do *joystick* e o utilizador não possui destreza física para manter o *joystick* deflectido pelas razões apresentadas anteriormente.

- **Capítulo 3 — Sensores para Cadeiras de Rodas** – neste capítulo será efectuado um levantamento dos diversos tipos de sensores que incorporam as cadeiras de rodas e alguns interfaces Homem-Máquina (HMI).
- **Capítulo 4 — Especificação do Sistema** – neste capítulo será especificado em detalhe o modo de funcionamento do LAM.
- **Capítulo 5 — Implementação Base** – neste capítulo será efectuado uma descrição do *hardware/software* base ao funcionamento do modo LAM.
- **Capítulo 6 — Avaliação e Resultados** – neste capítulo é efectuada a análise dos resultados obtidos.
- **Capítulo 7 — Conclusões e Trabalho Futuro** – neste capítulo será discutido as conclusões finais e indicadas algumas sugestões e desenvolvimentos futuros que poderão ser introduzidos.
- **Apêndice A — Implementação do Sistema de Ultra-sons** – neste apêndice é descrito o tipo de sensores utilizado, assim como o modo de funcionamento do mesmo.
- **Apêndice B — Placa de desenvolvimento com 2 controladores CAN** – esquema eléctrico da placa de desenvolvimento dsPIC 30F6012a com 2 controladores CAN.
- **Apêndice C — Esquema eléctrico para alimentação** – esquema eléctrico do circuito de acondicionamento da alimentação através das baterias para o módulo de *bridging* e *switches*.
- **Apêndice D — Esquema eléctrico para alimentação com circuito de comparação** – esquema eléctrico do circuito de acondicionamento da alimentação através das baterias para o módulo de *bridging* e *switches*, assim como o circuito de comparação para actuar nos *switches*.

Capítulo 2

Cadeiras de Rodas Eléctricas

Cadeiras de rodas eléctricas representam o significado de locomoção¹ usado por deficientes motores e por pessoas idosas com incapacidades motoras. Contudo, pessoas que sofrem de incapacidades motoras graves possuem dificuldade ou mesmo impossibilidade de utilizarem uma cadeira de rodas eléctrica. Muitos projectos têm sido desenvolvidos com o intuito de melhorar a qualidade de vida destas pessoas. O campo da tecnologia de reabilitação para cadeiras de rodas, tem sido alvo de um grande esforço para desenvolver estratégias de navegação, quer em ambientes interiores quer em ambientes exteriores. Nesta área encontram-se projectos para todo o tipo de utilizadores. Alguns projectos focam-se nas condições de segurança e avaliam as condições de risco, outros são desenvolvidos para detectar e evitar obstáculos, outros para planeamento de trajectórias para executarem manobras complexas tais como, atravessar uma porta. Actualmente, praticamente todos os projectos utilizam uma interface Homem-Máquina, na qual o utilizador e o sistema que controla a cadeira partilham o controlo. As cadeiras de rodas eléctricas inteligentes, consistem normalmente numa cadeira de rodas eléctrica comercial onde o processamento da informação é realizado num computador portátil e um conjunto de sensores de forma a fornecerem navegação assistida ao utilizador para uma condução segura.

Neste capítulo será efectuado um levantamento de algumas cadeiras de rodas eléctricas comerciais, assim como de alguns projectos baseados em cadeiras de rodas inteligentes. Nestes últimos serão abordados os diferentes modos de operação, tipo de sensores utilizados e tipos de interfaces Homem-Máquina que as incorporam.

2.1 Cadeiras de Rodas Eléctricas Comerciais

No mercado das cadeiras de rodas, as comerciais são as mais procuradas. No entanto, não satisfazem as necessidades de todos os utilizadores, uma vez que não estão dotadas de sistemas de sensores para localização de obstáculos, nem de modos de condução autónoma. Desta forma, o utilizador possui todo o controlo sobre a cadeira e necessita de ter as condições físicas e mentais necessárias para a manipular e controlar de forma segura. De seguida enumera-se alguns dos fabricantes de cadeiras de rodas eléctricas, bem como a referência a um dos seus modelos, apenas para percepção do que existe disponível comercialmente.

¹acto de se transportar de um lado para o outro; deslocação

2.1.1 FDX Front-Wheel Drive Power Wheelchair

A Invacare lançou recentemente uma cadeira de rodas eléctrica, a FDX Front-Wheel Drive Power Wheelchair [Inv10], apresentada na figura 2.1. A cadeira FDX possui duas opções de velocidade de condução. No entanto, a configuração *standard* permite conduzir até 5mph. O módulo G-Trac Electronic Gyroscope melhora a condução da cadeira, permitindo que esta mantenha o seu trajecto independentemente do terreno ou dos obstáculos encontrados. Este módulo facilita a condução da cadeira e diminui a fadiga do utilizador dado que a correcção do percurso a seguir é mínima. Para além dos pormenores mencionados anteriormente, este módulo permite manter uma velocidade constante, bem como a direcção, quando a cadeira é utilizada em diferentes superfícies, mesmo a velocidades muito baixas.



Figura 2.1: FDX Front-Wheel Drive Power Wheelchair

Esta cadeira de rodas FDX também é incorporada com o novo Invacare MPJ™ + *joystick* com display a cores, o qual é uma estação de informação. A cor ajuda o utilizador indicando o movimento, o modo corrente e o estado. As novas funcionalidades incluem ícones intuitivos, diagnósticos detalhados e um relógio de tempo real.

2.1.2 X850 Corpus

A Permobil possui uma cadeira de rodas fora do comum, a X850 Corpus [Per10] representada na figura 2.2, projectada para terrenos acidentados. Esta cadeira foi construída para ambientes exteriores, a qual possui tracção nas rodas traseiras, ESP (*Electronic Steering System*) e um sistema de suspensão robusto associado com assento versátil para maior conforto do utilizador. Esta cadeira possui uma velocidade máxima de 9mph e permite subir obstáculos até quatro polegadas e meia. Para além destas características, possui uma fácil personalização do assento através do sistema Corpus seating. Também possui rotação do assento, suspensão ajustável e espelhos retrovisores de forma a garantir que não seja surpreendido com obstáculos ao longo do caminho. Possui também uma parte dianteira extensível personalizável para cada utilizador, proporcionando uma maior estabilidade à cadeira e uma grande

2.1. CADEIRAS DE RODAS ELÉCTRICAS COMERCIAIS

variedade de acessórios.



Figura 2.2: X850 Corpus

2.1.3 Puma

A Handicare possui também uma cadeira de rodas multifuncional, Puma [Han10] representada na figura 2.3, que foi projectada tanto para ambientes interiores como para exteriores. Combina a óptima manobrabilidade com a máxima estabilidade e segurança. Possui motores “potentes” e suspensão ajustável que fornecem uma viagem segura e suave em todas as velocidades. A cadeira também está equipada com o sistema individualmente ajustável *Sedeo seating*, uma vez que a postura correcta e o suporte físico são cruciais para o utilizador da cadeira. Devido ao seu *design* modular e à sua gama de opções de ajuste, controlos especiais e acessórios, esta cadeira pode ser adaptada para satisfazer as necessidades do utilizador. Disponível como FWD² ou RWD³ para total flexibilidade. A suspensão sofisticada garante que as quatro rodas assentam sempre na estrada.



Figura 2.3: Puma

²Front-Wheel Drive

³Rear-Wheel Drive

2.2 Cadeiras de Rodas Eléctricas de Investigação

As cadeiras de rodas eléctricas comerciais estão mais relacionadas com o conforto do utilizador, *design* e desempenho, do que propriamente com a navegação da cadeira. Desta forma, não possuem módulos de navegação autónoma nem nenhum mecanismo que evite os obstáculos ao longo do trajeto.

As cadeiras de rodas eléctricas de investigação encontram-se no ramo ligeiramente diferente das comerciais. Apesar de se preocuparem com conforto, o objectivo de destaque é a segurança do utilizador que não possui destreza para manipular a cadeira de rodas eléctrica comercial. Assim, diversos módulos de navegação devem ser incorporados com o intuito de facilitar o dia-a-dia destes utilizadores.

2.2.1 Robchair

A Robchair [PANTA98] [PNTA98], projecto desenvolvido na Universidade de Coimbra, é uma cadeira de rodas eléctrica convencional com duas rodas motoras e *casters* na frente, representada na figura 2.4. A RobChair é um projecto que cresceu mediante alguns objectivos: garantir a segurança do utilizador, auxiliar o utilizador na execução de manobras complexas, garantir comunicação permanente entre o utilizador e um observador remoto e garantir que utilizadores com diferentes incapacidades consigam igualmente controlar a cadeira.



Figura 2.4: Robchair

Descrição do *Hardware*

O interface de comunicação entre a Robchair e o utilizador pode ser efectuado através de um *joystick standard* ou por voz HMI (*Human-Machine Interface*).

A interface através da voz é efectuada por um microfone que captura a voz do utilizador para posteriormente ser processada por um sistema de reconhecimento de voz. O sistema sensorial que foi incorporado na cadeira é composto por 12 sensores de infra-vermelhos, 4 sensores ultra-sónicos, um *bumper* táctil frontal e *encoders* ópticos nas rodas. Esta cadeira possui também um ambiente de tele-operação, que foi criado com o intuito de garantir não

2.2. CADEIRAS DE RODAS ELÉCTRICAS DE INVESTIGAÇÃO

só a comunicação permanente entre o utilizador e um observador remoto, ou mesmo a monitorização dos estados da cadeira, mas também para garantir a operação remota da cadeira quando o utilizador enfrentar alguns problemas, como ficar preso ou ser incapaz de efectuar uma manobra complexa. Nestas situações o operador remoto poderá operar a cadeira mediante um interface gráfico utilizador.

O sistema da Robchair é um sistema diferente de outro tipo de robôs, é um sistema Homem-Máquina, o que significa que o utilizador partilha o controlo com a cadeira.

O diagrama de blocos da arquitectura da Robchair encontra-se representado na figura 2.5

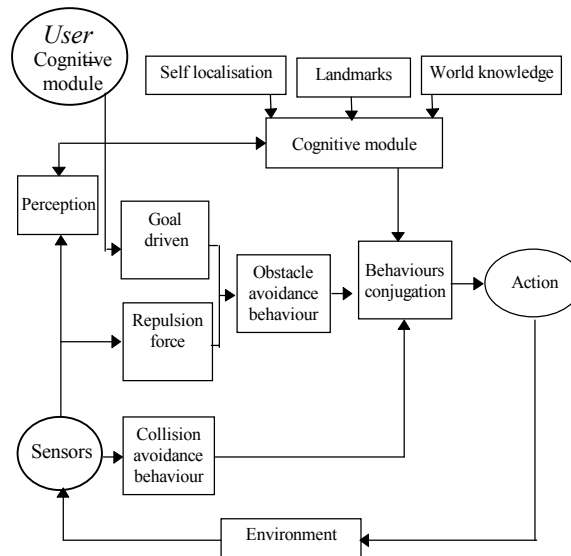


Figura 2.5: Diagrama de blocos da arquitectura da Robchair

Protocolo de comunicação

Um computador de bordo é responsável por dar alguma inteligência à cadeira, o qual é conectado aos dispositivos através de barramentos. A plataforma é conectada a dispositivos externos através de um *link wireless*. Esta conexão permite a implementação da arquitectura distribuída, a qual exhibe a possibilidade e a capacidade de estender a cadeira a outras perspectivas, como a integração em ambientes inteligentes.

Os dispositivos distribuídos ao longo da plataforma estão conectados através de dois barramentos:

- *Controller Area Network* (CAN)
- *Universal Serial Bus* (USB)

O CAN é utilizado para transferência de dados de pequenas mensagens importantes entre os dispositivos, enquanto o USB é utilizado principalmente pelos dispositivos que enviam ou recebem um largo número de dados.

O barramento CAN é um protocolo determinístico que garante a entrega das mensagens (de outro modo um erro seria reportado). A principal desvantagem do protocolo CAN é

possuir baixa largura de banda, 1Mbit/s. Por outro lado, o USB possui uma elevada largura de banda, permitindo 480Mbit/s se se trabalhar com dispositivos compatíveis com o protocolo USB 2.0 [SAN⁺].

Modos de operação

A cadeira possui quatro modos de operação. Os quais variam desde o utilizador que controla a cadeira autonomamente, até ao modo de operação completamente autónomo, que mediante um comando “*go-to-goal*” dado pelo utilizador a cadeira navegará até ao local destino. Nos modos de operação intermédios, o controlo é partilhado entre o utilizador e a cadeira, a qual deverá ser capaz de corrigir as manobras, mais ou menos complexas, mediante o modo de operação.

2.2.2 Navchair

A NavChair [CSPL99] [PLABAJ⁺99], representada na figura 2.6, é um projecto desenvolvido na Universidade de Michigan. Este projecto teve como objectivo fornecer ao utilizador com elevadas incapacidades motoras, sensoriais, de percepção ou cognitivas, uma navegação assistida de forma a permitir-lhe operar a cadeira de forma independente.

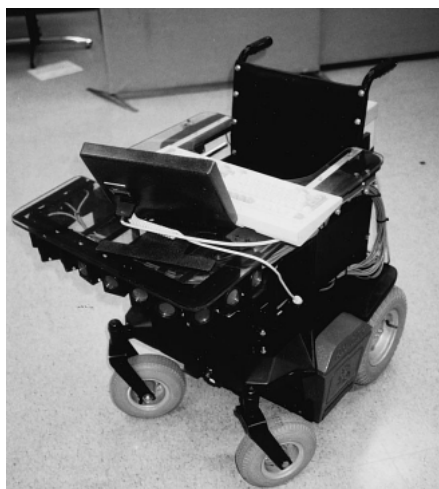


Figura 2.6: Navchair

Descrição do *Hardware*

Este projecto é baseado numa cadeira de rodas eléctrica comercial com a adição de um computador com sistema baseado em DOS, sensores ultra-sónicos e um módulo de interface que comunica entre o *joystick* e o módulo de potência da cadeira de rodas. A NavChair segue uma arquitectura partilhada, que permite que o utilizador e a cadeira partilhem decisões, respeitando a detecção e a aproximação segura dos obstáculos.

O diagrama de blocos da arquitectura da NavChair encontra-se representado na figura 2.7

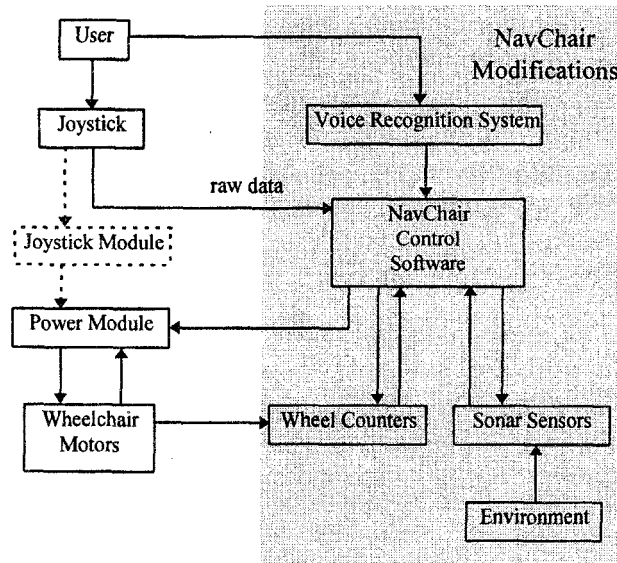


Figura 2.7: Diagrama de blocos da arquitectura da NavChair

Modos de operação

Esta cadeira possui três modos de operação seguindo uma hierarquia de níveis. No primeiro nível da hierarquia, o utilizador é responsável pelo planeamento do caminho, por evitar os obstáculos e pela navegação. No segundo nível, o sistema deverá tomar algumas decisões sobre o planeamento da trajectória. No nível mais elevado da hierarquia, o utilizador fornece o ponto de destino, o planeamento e a navegação são unicamente responsabilidade da cadeira. Os três modos de operação que a cadeira possui são: evitar obstáculos gerais (GOA), passagem de porta (DP) e acompanhamento automático de parede (AWF). O modo GOA é o modo de operação por omissão, cuja intenção é permitir uma navegação fácil e rápida em multidões, enquanto mantém uma distância de segurança aos obstáculos. O modo DP permite que a cadeira se desloque entre dois espaços apertados. Este modo centra a cadeira no local de passagem e passa através dele. Finalmente, o último modo (AWF) faz com que a cadeira modifique os comandos do utilizador, dados através do *joystick* para seguir a parede mais próxima, à esquerda ou à direita da cadeira. A velocidade da cadeira é ajustada de acordo com a distância ao obstáculo mais próximo, o que permite parar a cadeira antes que ocorra a colisão.

Partilhando as decisões de controlo da cadeira com a detecção de obstáculos, aproximação segura aos objectos, manutenção de um percurso, reduz-se o esforço cognitivo e motor do utilizador para operar a cadeira de rodas.

2.2.3 Wheellesley

A Wheellesley [AY], é uma cadeira de rodas robótica criada pelo KISS Institute for Practical Robotics e está representada na figura 2.8. O objectivo de desenvolvimento desta cadeira robótica foi fornecer um sistema de navegação assistida em ambientes interiores e exteriores com características acessíveis, como rampas e portas com largura suficiente para permitir a passagem da cadeira, o qual permitirá ao utilizador conduzi-la de uma forma mais simples.



Figura 2.8: Wheelesley

Descrição do *Hardware*

Este projecto consiste numa cadeira de rodas eléctrica comercial dotada de um computador de bordo, sensores e um interface gráfico para o utilizador. Para percepção do ambiente a cadeira possui 12 sensores de infra-vermelhos, 6 sensores ultra-sónicos, 2 *encoders* e 2 sensores de efeito de *Hall*. Os sensores de infra-vermelhos e os ultra-sónicos estão situados em torno do perímetro da cadeira de rodas, com maior concentração na zona frontal. Os sensores de efeito de Hall encontram-se montados no *bumper* frontal da cadeira.

Modos de operação

O utilizador possui o alto nível de controlo. Dado um comando à cadeira através do interface gráfico, o computador mantém a cadeira distanciada dos obstáculos através da leitura dos sensores. A cadeira não permite que o utilizador embata contra qualquer tipo de obstáculos. Se a cadeira por alguma razão ficar bloqueada, ela pára e espera por um novo comando do utilizador. Se a cadeira tem tendência a deslizar para a direita, ela corrige-se e move-se para a esquerda. Isto permite ao utilizador dispender menos esforço para conduzir a cadeira. O utilizador dá um comando de alto nível através do interface gráfico e o sistema executa o comando do utilizador atendendo às restrições comuns de percepção do ambiente, como evitar obstáculos.

Mais recentemente, uma nova cadeira, a Wheeley [BCM⁺07], foi redesenhada da Wheelesley. Esta nova cadeira, foi acrescida de um braço robótico e associado a ele um sistema de visão para permitir precionar botões de elevadores, assim como para abrir portas.

2.2.4 TAO Aicle

TAO Aicle [MKT⁺06], figura 2.9, é uma cadeira de rodas inteligente com capacidade de navegação autónoma. Este projecto foi proposto com a intenção de aumentar a qualidade de vida dos utilizadores de cadeiras de rodas bem como da sua saúde.

2.2. CADEIRAS DE RODAS ELÉCTRICAS DE INVESTIGAÇÃO

Descrição do *Hardware*

Esta cadeira de rodas consegue determinar com precisão a sua posição e direcção, através de sensores internos e assistência externa do ambiente, inclui um sistema de posição global (GPS) e identificação de rádio frequência (RFID). A TAO Aicle é uma versão aperfeiçoada da cadeira de rodas eléctrica TAO Light II.

O sistema de RFID é uma característica distinta das outras cadeiras de rodas eléctricas inteligentes. Para além do sistema de GPS e RFID, a TAO Aicle consegue também detectar obstáculos através de um sensor de alcance laser. Este projecto utiliza um sistema diferente dos utilizados nos robôs móveis. Enquanto que os robôs utilizam a informação das marcas RFID para identificar apenas as áreas móveis, este projecto utiliza a informação das marcas RFID colocadas ao longo do caminho para compensar a posição da cadeira.



Figura 2.9: TAO Aicle

A TAO Aicle consiste em alguns sub-sistemas, entre os quais refere-se os mais importantes:

- Controlador de Viagem Autónomo: unidade de controlo de condução que possui um computador de bordo. Através da comunicação com a unidade de posicionamento integrada, reconhece a posição e a direcção absoluta da cadeira baseando-se no GPS, marcas RFID e na bússola. Com toda esta informação, calculando a posição e a direcção dos sinais dos *encoders*, este controlador consegue estimar a posição e direcção correcta da cadeira. Para que sejam garantidos arranques suaves e paragens seguras, este controlador possui também um sistema de controlo de velocidade. Contém, igualmente, várias funções para permitir detectar e contornar obstáculos fixos e imobilizar-se quando confrontado com obstáculos móveis.
- Unidade de Posicionamento Integrada: esta unidade integra a informação de posição do GPS, leitura RFID e a informação da bússola.
- Terminal de Previsão de Informação Segura: este terminal encontra-se no apoio de braço da cadeira e consiste num PDA que inclui um terminal de *software* para a interface com a Unidade de Posicionamento Integrada, comunicação *wireless* com um ponto de acesso e interface utilizador e um servidor de *software* para manipulação da cadeira.

A figura 2.10 apresenta o diagrama de blocos do controlador de viagem autónomo da TAO Aicle.

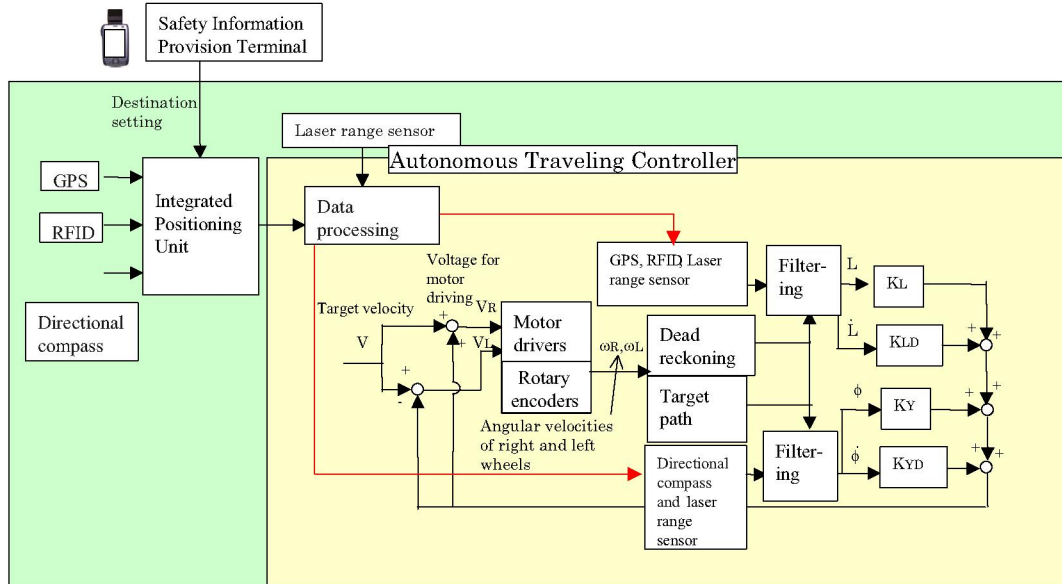


Figura 2.10: Diagrama de blocos do controlador de viagem autónomo da TAO Aicle

2.2.5 SIAMO

O Projecto SIAMO ⁴ [MCGJR⁺02], figura 2.11, desenvolvido no Departamento de Electrónica da Universidade de Alcalá em Espanha, tem como objectivo o teste de sistemas electrónicos modulares ajustados numa estrutura adaptável, que consegue lidar com as diferentes necessidades dos potenciais utilizadores. A modularidade garante independência e permite que a comercialização dos produtos seja mais fácil, podendo oferecer diversas versões rapidamente adaptadas à necessidade de qualquer utilizador.

Os principais blocos funcionais que incorporam a cadeira estão definidos como: Controladores de movimento e potência (Baixo nível de Controlo), Interface Utilizador (Interface Homem-Máquina, HMI), Percepção e Integração do Ambiente e finalmente a Navegação e integração sensorial (Alto Nível de Controlo).

Descrição do *Hardware*

Para controlo da cadeira, interface Homem-Máquina, o utilizador possui diversas alternativas:

- *joystick* linear
- *joystick* discreto
- botões ou *switches*

⁴acrónimo espanhol de Integral System for Assisted Mobility

2.2. CADEIRAS DE RODAS ELÉCTRICAS DE INVESTIGAÇÃO

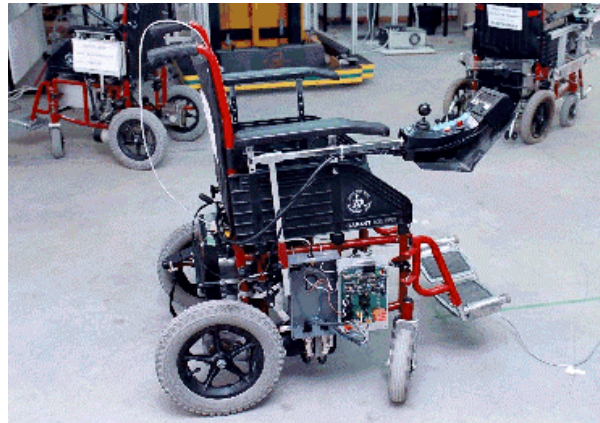


Figura 2.11: SIAMO

- dispositivo de expulsão da respiração
- comandos vocais
- movimentos da cabeça ou oculares

Para a unidade de expulsão da respiração, é utilizado um sensor diferencial de fluxo de ar com saídas lineares, para que seja possível detectar tanto a força como a direcção da respiração. O método de comando da cadeira através de movimentos da cabeça é efectuado através de uma micro câmara de cor CCD, posicionada na frente do utilizador, de forma a obter imagens da cara. Para as pessoas que não conseguem mover a cabeça, estas podem comandar a cadeira através da posição do olho na sua órbita (sinais de electrografia-ocular, EOG). A posição dos olhos é detectada para gerar códigos para controlar a velocidade angular e linear da cadeira de rodas. Outro modo de comando da cadeira é através de comandos de voz. Estes comandos são definidos pelo utilizador e cada comando tem associada uma função de condução. Finalmente, o último modo de condução é o modo deictic. Este modo utiliza uma câmara instalada numa unidade *pan-tilt* e um monitor *touch-screen*. Este modo permite ao utilizador identificar o ponto de destino através da imagem do ambiente. Para conduzir a cadeira o utilizador controlará a câmara usando a unidade de *pan-tilt* até ao ponto destino ou um ponto intermédio ser encontrado. Assim, com o *touch* ou outro dispositivo como o interface de movimento dos olhos, é seleccionado o ponto alvo e a cadeira de rodas irá procurar o alvo.

O sistema de percepção do ambiente de baixo nível é composto por *bumpers* e detectores de contacto, activados em situações de colisão iminente. No nível mais alto, o sistema de sensores é construído com um grupo de dispositivos inteligentes, que são capazes de recuperar a informação do ambiente como de pré-processar os dados. Alguns dos módulos são: sensores ultra-sónicos e de infra-vermelhos, como detectores primários de obstáculos, um sistema de visão activa que mede os dados de alcance baseados num díodo emissor laser e outro sistema de visão activa baseado em marcos artificiais (*Localization and Positioning Landmarks*, LPL) orientados só para reconhecimento do ambiente e tarefas de navegação.

Protocolo de Comunicação

As comunicações *on board* da cadeira são efectuadas através de um barramento série, sistema *LonTalk*, o qual permite um tempo de transacção entre aplicações tão baixo como 7ms, estando à volta de 10-20ms na pior das situações como elevado tráfego ou maior volume de dados.

A cadeira de rodas pode interagir facilmente em edifícios, uma vez que um nó sem contacto (compatível com *LonTalk*), equipado com um *wireless driver*, pode ser colocado nas portas principais e carregado com a descrição completa dos espaços. Este modo de integração fornece muitas vantagens, a energia de computação diminui significativamente e as capacidades de navegação podem crescer e cobrir locais nunca antes visitados. Também permite o acesso da cadeira a outros dispositivos electrónicos conectados à rede local do edifício, o que permite disponibilizar uma gama de acções a serem efectuadas através da cadeira, como dar e receber mensagens de estado de/para elevadores, luzes ou outros dispositivos.

O diagrama de blocos da arquitectura da SIAMO encontra-se representada na figura 2.12

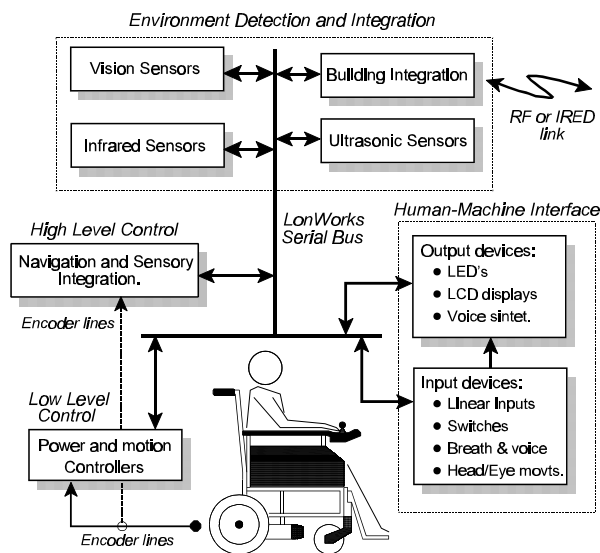


Figura 2.12: Diagrama de blocos da arquitectura da SIAMO

2.2.6 Conclusão

Perante o descrito acima, verifica-se que existe uma variedade de modelos desenvolvidos ou em desenvolvimento de cadeiras de rodas eléctricas, para quase todos os tipos de deficiências e necessidades a que os utilizadores possam estar sujeitos. Como não é de todo o objectivo desta dissertação elaborar um lista exaustiva dos tipos e modelos de cadeiras de rodas existentes na actualidade, apenas se apresentou algumas que sofreram um maior desenvolvimento tecnológico. Para um maior envolvimento nos diversos tipos de cadeiras de rodas eléctricas inteligentes existentes consultar [C.S05], uma vez que este artigo faz uma listagem exaustiva dos tipos de cadeiras de rodas eléctricas inteligentes, bem como do *hardware* e os diferentes modos de operação que as incorporam.

A tabela 2.1 mostra em suma as cadeiras de rodas eléctricas de investigação referenciadas nesta secção, com os seus diferentes modos de funcionamento e os diferentes tipos de sensores que as incorporam.

Pela análise da tabela 2.1 verifica-se que cada cadeira possui características diferentes da outra. A cadeira mais completa que foi apresentada foi a SIAMO e contém praticamente todas as características das restantes.

No entanto, as cadeiras de rodas eléctricas de investigação não têm propriamente o objectivo da redução do custo da cadeira nem a ajuda à reabilitação do utilizador. São apenas incorporados métodos de condução inovadores de forma a que o esforço do utilizador seja apenas o indispensável para controlar a cadeira ao longo de um percurso.

		Smart Wheelchair				
		Robchair	Navchair	Wheelesley	TAO Aicle	SIAMO
Sensores	Ultra-sons	X	X	X		X
	Infra-vermelhos	X		X	X	X
	Laser				X	X
	Visão			X		X
	<i>bumper</i>	X		X	X	X
	GPS				X	
	RFID				X	
Modos Operação	Navegação Autónoma		X		X	X
	Evitar Obstáculos	X	X	X	X	X
	Seguir Parede	X	X	X	X	X
	Passagem de Porta		X		X	X
Input	Voz	X	X			X
	EOG					X
	Orientação da Cabeça					X
	Deictic					X
	Ambiente Tele-Operação	X			X	
	Interface Gráfico	X		X		X

Tabela 2.1: Características das cadeiras de rodas eléctricas inteligentes mencionadas na secção 2.2

2.3 Proposta de Adaptação de Cadeira de Rodas Eléctrica Comercial

Um novo projecto de adaptação de uma cadeira de rodas eléctrica comercial tem lugar na Universidade de Aveiro, e consiste numa proposta de uma nova arquitectura para uma cadeira de rodas eléctrica assistida, APW⁵ [UFNF08]. Neste projecto, é proposto fornecer um controlo eficaz e seguro para pessoas que não possuam destreza em manipular um *joystick* convencional. Um dos objectivos deste projecto é adaptar cada APW às necessidades de cada utilizador. Este projecto tem também como objectivo principal a ajuda à reabilitação do utilizador. Também se pretende que o custo associado ao protótipo final seja relativamente baixo, de forma a ser acessível ao utilizador do ponto de vista económico.

A cadeira de rodas eléctrica assistida deverá ser capaz de transportar o utilizador de um local para outro com uma reduzida interação entre o utilizador e o *joystick*. Esta proposta de projecto possui diversos modos de operação, o modo de operação *Adapted legacy*, LAM, *Semi-autonomous Transfer Mode*, SaTM e o *Autonomous Transfer Mode*, ATM. No entanto, o modo *legacy*, que é o modo de operação da cadeira de rodas eléctrica convencional, será mantido, uma vez que os utilizadores-alvo deste projecto encontram-se em fase reabilitação e podendo no futuro serem capazes de operar a cadeira sem adaptações. Apenas o modo LAM, é objectivo de desenvolvimento desta dissertação, pelo que será especificado com mais detalhe em capítulos posteriores.

Um *joystick* convencional permite seleccionar a direcção da cadeira bem como a escolha da velocidade, dado que quanto maior for a deflexão do *joystick* maior será a velocidade, pelo que a movimentação da cadeira requer uma manipulação constante do *joystick*. Enquanto que para manipular uma cadeira de rodas eléctrica convencional, o utilizador necessita de uma interação constante com o *joystick*, neste projecto é pretendido que o utilizador especifique apenas a direcção e intenção do movimento através do *joystick*, e a cadeira encarregar-se-á de se movimentar sem a interação contínua do utilizador com o *joystick*. A selecção da velocidade será ajustada de acordo com a distância aos obstáculos, uma vez que o utilizador não possui capacidade física para manipular com eficácia o *joystick*. Desta forma a cadeira terá que ser dotada também de módulos de detecção de obstáculos.

No capítulo seguinte discutir-se-á os diferentes tipos de sensores que são alvo para o desenvolvimento das cadeiras, assim como as vantagens e desvantagens face à sua utilização.

⁵Acrónimo da palavra Inglesa: Assistive Powered Wheelchair.

Capítulo 3

Sensores para Cadeiras de Rodas

Neste capítulo serão abordados os dispositivos de sensores e as suas funcionalidades de suporte, aos utilizadores das cadeiras de rodas.

Serão abordados os sensores de proximidade e detecção de obstáculos:

- Sensores de Ultra-sons
- Sensores de Infra-vermelhos
- Sensores Laser
- Sistema de Visão (Omnidireccional)

e interfaces Homem-Máquina:

- Sistema de Reconhecimento de Voz
- *Joysticks*

3.1 Sensores de Proximidade e Detecção de Obstáculos

O sistema de sensores de proximidade, para determinação de distâncias, tem sido alvo de desenvolvimento em diferentes aplicações comerciais. Este desenvolvimento tem sido transferido para as cadeiras de rodas eléctricas, de forma a assistir pessoas com capacidades limitadas, permitindo a detecção de diversos obstáculos ao longo do percurso, de forma a que as cadeiras possam ter um comportamento inteligente e autónomo.

3.1.1 Sensores de Ultra-Sons

Os sensores de ultra-sons, figura 3.1 contêm um emissor que envia um sinal de energia sonora. O sinal viaja à velocidade do som, sendo reflectido por objectos em frente ao sensor em forma de eco. Medindo o tempo que o eco demora a chegar ao receptor, poderá calcular-se a distância ao objecto.

O sistema ultra-sónico é utilizado frequentemente em vários robôs móveis devido às suas propriedades de baixo custo, simplicidade, fácil instalação, baixo consumo de energia e detecção de objectos a diferentes distâncias. Como não é um dispositivo óptico, não sofre



Figura 3.1: Sensores de Ultra-Sons

influência da mudança de cor. Os sensores ultra-sónicos são precisos quando a onda emitida embate numa superfície perpendicular ao sensor. Quando o ângulo de incidência aumenta, a probabilidade da onda reflectida não retornar também aumenta. Este efeito pode ser mais pronunciado se o objecto é mais liso ou absorve o som. Além disto, a informação proveniente dos sensores pode ser facilmente processada em tempo-real [LYZH05] [ZWX]. Apesar destes sensores conseguirem detectar diferentes objectos, por si só são inadequados para sistemas anti-colisão, devido a serem incapazes de detectar objectos comuns no ambiente alvo. Contudo, combinando com um outro sistema de percepção do ambiente, a utilização destes sensores poderá ser apropriada. A utilização de múltiplos sensores numa mesma cadeira aumenta a complexidade do sistema. O envio do sinal por parte de vários sensores deverá ser emitido sequencialmente de forma a evitar *crosstalk*. Outro problema relacionado com este tipo de sensores é a interferência, que tanto pode ser causada por outros sensores ultra-sónicos na vizinhança¹, como por outras fontes de ruído de alta frequência no ambiente [DRF05].

3.1.2 Sensores de Infra-Vermelhos

Os sensores de infra-vermelhos, figura 3.2, são normalmente de dois tipos: transmissivos e reflectivos. Ambos são constituídos por um emissor e um receptor de luz infra-vermelha. A diferença está no caminho que a luz segue. Nos transmissivos, a luz emitida dirige-se directamente para o receptor, enquanto que nos reflectivos a luz é reflectida por um objecto antes de chegar ao receptor. Ambos podem ser utilizados para detecção de obstáculos, mas apenas nos interessa os reflectivos, uma vez que é impraticável colocar receptores em todo o espaço de deslocamento da cadeira.

Os sensores do tipo reflectivo podem ser usados para medir distâncias. Esta medição pode ser feita de 3 maneiras diferentes:

- Tempo de voo
- Intensidade do sinal recebido
- Triangulação

A primeira é difícil de implementar em sensores infra-vermelhos devido à velocidade da luz, a segunda depende da superfície dos objectos e a terceira é a mais comum e fácil de implementar.

¹A emissão de um sinal de um sensor poderá ser interpretado como um eco de um sensor de uma outra cadeira que poderá provocar a imobilização de ambas

3.1. SENSORES DE PROXIMIDADE E DETECÇÃO DE OBSTÁCULOS



Figura 3.2: Sensor de Infra-Vermelhos

Os sensores infra-vermelhos detectam obstáculos frontais aproveitando a propagação direccional e a reflectância. A distância de alcance é relativamente pequena, cerca de menos de um metro. É susceptível a interferência por luz difusa como uma lâmpada fluorescente [ZWX]. Os sensores infra-vermelhos podem ser “enganados” pela escuridão ou por materiais que absorvem a luz. Estes sensores também têm dificuldade em medir distâncias com objectos transparentes ou com superfícies refractivas. No entanto, apesar de todas estas limitações, este tipo de sensores é utilizado devido ao seu baixo custo e ao seu tamanho [C.S05].

3.1.3 Sensores Laser

Os sensores de distância a laser (LDS), são correntemente os sensores “*standard*” em robôs (quer para ambientes interiores quer exteriores).

A principal razão é a utilidade da informação: um LDS devolve a distância aos objectos no seu campo de visão, ao contrário dos sensores de visão que precisam de processamento complicado antes que as distâncias sejam medidas. Ao contrário de outros sensores de distância como sonares ou sensores infra-vermelhos, um LDS é capaz de uma fina resolução de ângulo e distância, comportamento tempo-real (centenas ou milhares de pontos de medidas por segundo), e uma baixa ocorrência de falsos negativos/positivos. Existem algoritmos eficientes para mapeamento e localização usando sensores LDS [KAD⁺08]. Apesar do alto preço, este tipo de sensores apresentam uma gama de distâncias aceitável. Permite medir a distância ao obstáculo assim como a altura do mesmo. No entanto, estes sensores são caros, grandes e consomem muita energia [C.S05].

3.1.4 Sistema de Visão (Omnidireccional)

Os sistemas de visão são utilizados em muitos sistemas inteligentes e possuem a vantagem de poder analisar o espaço à sua volta. Estes sistemas são normalmente constituídos por câmara(s) que captura(m) a informação do ambiente para posteriormente ser processada por algoritmos de tratamento de imagem complexos. A vantagem deste tipo de sistema é conseguir detectar objectos em movimento.

Existe também o sistema de visão stereo omnidireccional, representado na figura 3.3, que consegue capturar imagens omnidireccionais a cores e capturar a informação em tempo-real, permitindo a detecção de obstáculos de forma a evitá-los.

Para a aplicação deste sistema em cadeiras de rodas, são necessárias algumas tecnologias básicas, como por exemplo processamento de imagens omnidireccionais de alta definição e correcção automática do posicionamento da câmara. Este sistema oferece algumas vantagens, tais como a informação espacial capturada com alta resolução devido às várias câmaras, ausência completa de ângulos mortos em qualquer direcção devido à sua construção esférica e simultaneamente captura imagens a cores em tempo-real. Devido ao facto do sistema estar posicionado acima da cabeça do utilizador, tem várias vantagens como providenciar um maior alcance de observação, sem ângulos mortos em torno da cadeira de rodas, não existindo portanto nenhum obstáculo ao entrar ou sair da cadeira. Este sistema permite também transmitir os dados omnidireccionais para locais remotos através da rede [SS06].

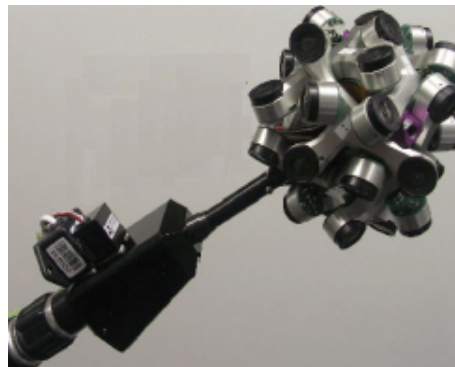


Figura 3.3: *Stereo Omni-directional System (SOS)*

3.2 Interfaces Homem-Máquina

Vários dispositivos de entrada e interfaces de controlo têm sido desenvolvidos para cadeiras de rodas eléctricas, com o intuito de satisfazer as diversas necessidades de pessoas incapacitadas.

Os *joysticks* convencionais (PSJ's)², facilitam a manipulação das cadeiras de rodas eléctricas para muitos indivíduos incapacitados, mas algumas pessoas não possuem capacidades motoras para manipular de maneira eficaz os PSJ's. Ou seja, para pessoas com perturbações de movimento ou com um alto nível de lesão ao nível da medula, este tipo de *joysticks* são inadequados para operar a cadeira de rodas eléctrica.

3.2.1 Sistema de Reconhecimento de Voz

Este sistema tornou-se fundamental em algumas aplicações comerciais uma vez que a utilização do *joystick* é um dispositivo inútil face às incapacidades de alguns utilizadores. Vários estudos foram feitos e revelam bons resultados em aplicações de laboratório. No

²PSJ's – *Position sensing joysticks*

3.3. CONCLUSÃO

entanto ainda não foi encontrada uma solução perfeita. Este tipo de sistema é controlado por comandos vocais simples (palavras isoladas de um vocabulário limitado) e implementado em sistemas portáteis e robustos ao ruído de fundo. Para proporcionar uma condução segura e confortável através de comandos de voz, devem ser incorporados sensores de detecção de obstáculos na cadeira. De forma a reduzir o ruído de fundo podem ser tomadas algumas medidas tal como a gravação do som para posterior análise espectral. O som do motor também pode ser gravado para posteriormente ser suprimido ao sinal composto (comando de voz mais ruído do motor mais ruído de fundo), melhorando assim a relação sinal ruído (SNR) que acarreta benefícios óbvios para a aplicação [FM07] [FBSB]. A principal vantagem do sistema de reconhecimento de voz é que não necessita de reconhecer apenas um sinal de voz, mas pode ser também usado em qualquer aplicação onde algum tipo de sinal mensurável esteja presente [PBB05].

3.2.2 *Joysticks*

Um *joystick* isométrico pode providenciar um controlo alternativo para alguns indivíduos [ACKJF⁺00]. Para pessoas que não possuem firmeza nos membros superiores, existem também cadeiras de rodas que ao detectar a presença de um obstáculo, aumenta a impedância do *joystick* permitindo ao utilizador encontrar os obstáculos intuitivamente de forma a evitá-los [KKB01]. Outro tipo de *joystick* baseado no uso da força de feedback foi desenvolvido para ajudar pessoas incapacitadas. A lei da força de feedback é uma função linear entre a cadeira de rodas e a distância ao obstáculo mais próximo. Neste caso o utilizador possui o controlo da cadeira e a lógica de controlo apenas torna o feedback do *joystick* mais ou menos difícil de ir numa determinada direcção [FSB00].

3.3 Conclusão

Várias cadeiras de rodas foram adaptadas com sensores infra-vermelhos e ultra-sónicos com o objectivo de prevenir e evitar colisões com obstáculos. No entanto, os sensores são baseados apenas na intensidade da reflexão dos infra-vermelhos e das ondas ultra-sónicas, o que pode acarretar vários problemas³ e que os torna menos vantajosos face ao sistema de visão omnidireccional. Contudo, o facto do sistema de visão omnidireccional utilizar câmaras implica um complexo processamento de imagem para detectar os obstáculos o que implica um elevado custo computacional. Desta forma deve-se utilizar múltiplos tipos de sensores e cruzar a informação obtida por cada um para localizar os obstáculos. Assim, as limitações de um sensor podem ser compensadas pelas vantagens dos outros, uma vez que a detecção de obstáculos tem de ser necessariamente uma tarefa precisa e cuidada, para que não resultem erros [FLCSMN].

Quanto aos sensores para interacção com o utilizador, cada um possui características diferentes, o que os enquadra em tipos de utilizadores diferentes. Por exemplo, o sistema de reconhecimento de voz pode ser utilizado por utilizadores que não possuam mobilidade ao nível das mãos, enquanto que o *joystick* isométrico pode ser utilizado por utilizadores que possuam algum grau da precisão nos membros superiores.

³raio de detecção limitado, dificuldade na detecção dependendo da posição, material do objecto e dificuldade em distinguir os objectos detectados

Capítulo 4

Especificação do Sistema

Como já foi referido anteriormente, o *joystick* convencional é um dispositivo inadequado para pessoas que possuam força reduzida nos membros superiores, ou que tenham tremores e espasmos. Neste trabalho, foi proposto a implementação de um novo conceito de adaptação de uma cadeira de rodas eléctrica comercial, de forma a desenvolver uma cadeira de rodas eléctrica assistida para pessoas tetraplégicas com reduzida mobilidade nos braços e mãos. A cadeira de rodas eléctrica assistida terá de estar apta a transportar o utilizador de um local para outro, com uma reduzida interação entre o utilizador e a cadeira. Assim, a cadeira de rodas eléctrica assistida deverá navegar com segurança, evitando os obstáculos encontrados ao longo do trajecto.

4.1 Princípio de Funcionamento

Um estudo realizado em [UFNL09], revelou que muitos pacientes não são capazes de definir a direcção da cadeira através da interacção com o *joystick*. Contudo, dentro deste grupo de pessoas, existem algumas que apenas conseguem movimentar a mão para a frente, ou para a esquerda ou para a direita, o que implica que conseguem apenas mover o *joystick* para a frente, ou para a esquerda ou para a direita, respectivamente. No entanto, aparentemente, todas estas pessoas conseguem concretizar o movimento para trás, mas não num caminho contínuo. Por exemplo, se uma pessoa é capaz de movimentar o *joystick* para a esquerda, os únicos movimentos que esta pessoa consegue efectuar é dar apenas alguns impulsos no *joystick*, para a esquerda e para trás. Então, esta pessoa consegue controlar a cadeira de rodas eléctrica apenas com dois movimentos distintos, esquerda e trás. O mesmo se passa para as pessoas que apenas conseguem mover o *joystick* para a frente ou para a direita, mas de uma forma análoga.

O novo modo de operação, LAM¹ proposto em [UFNF08], permite que o mesmo movimento do *joystick* consiga comandar a cadeira de rodas eléctrica em duas direcções distintas, ir em frente ou mudar de direcção. A distinção entre a direcção que a cadeira de rodas toma é feita por um *switch* que será actuado pelo utilizador, mediante a direcção que este pretenda tomar. De uma forma sucinta, o utilizador, com a cadeira parada, irá definir a direcção do movimento da cadeira, se vai andar em frente ou se vai efectuar o movimento de rotação sobre o seu eixo. No movimento de rotação, a cadeira de rodas rodará tantos graus quanto

¹acrónimo *Legacy Adapted Mode*

os que foram especificados previamente pelo utilizador² para a cadeira rodar. Ou seja, se o utilizador, na configuração inicial da cadeira, especifica que um toque no *joystick* fará a cadeira rodar 15° , então para que a cadeira rode 60° o utilizador terá que dar 4 toques no *joystick*.

Pretende-se que a cadeira de rodas eléctrica assistida possa operar num de dois modos:

- Modo *Legacy*
- Modo LAM

No modo *Legacy*, o *joystick* comanda a cadeira de rodas como de origem. Para o modo LAM, propõe-se um interface no qual o utilizador dá um toque não contínuo³ no *joystick* indicando a intenção de paragem ou arranque da cadeira de rodas. No caso de arranque será necessário especificar se o movimento a efectuar será o movimento em frente ou o movimento de rotação, como foi referido anteriormente.

Para uma melhor compreensão do modo de funcionamento do LAM, apresenta-se em seguida a máquina de estados finitos (FSM) (figura 4.1) do sistema para melhor se perceber como tudo se irá processar, assim como a transição a que cada estado possa estar sujeito.

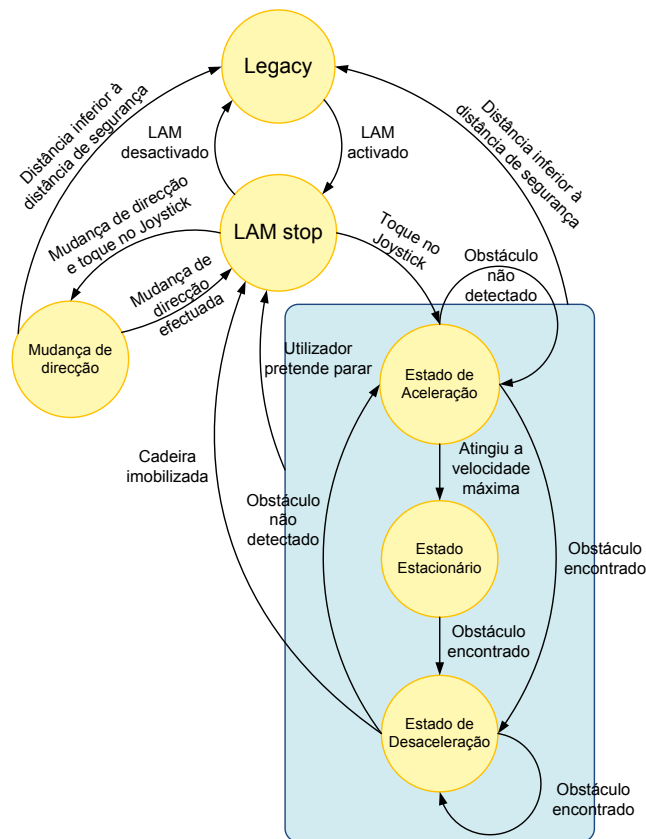


Figura 4.1: Máquina de estados finitos do modo de operação LAM

²a especificação dos parâmetros na cadeira será efectua por um programador

³toque com uma determinada duração

4.1. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Quando a cadeira é ligada, ela inicia-se no modo *Legacy*, que é o modo de operação por omissão e o *joystick* controla a cadeira de acordo com as especificações do fabricante. Se se pretender passar para o modo LAM, este terá de ser activado, sinalizando a intenção de alteração de modo. Esta alteração será efectuada por um *switch* ou por um dispositivo análogo que mais se adapte às características do utilizador-alvo. Uma vez no modo LAM, o utilizador terá que dar um toque no *joystick* para que a cadeira inicie o movimento. Este toque não poderá ser apenas um simples toque, terá de ser um toque cuja intenção seja garantidamente colocar a cadeira em movimento. Desta forma, o utilizador terá que manter o *joystick* deflectido por um determinado tempo, tal como indica a figura 4.2. Este tempo garante que toques involuntários no *joystick* não sejam interpretados como comandos para a cadeira.

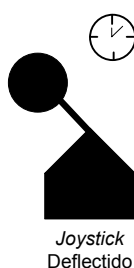


Figura 4.2: Ilustração de como iniciar o movimento da cadeira

A intenção de mudança de direcção é sinalizada via *bumper* tátil, em que o utilizador apenas terá que deixar “cair” a mão sobre o *bumper*, ou por outro dispositivo análogo que mais se adapte às características do utilizador-alvo, de forma a efectuar a distinção entre os dois movimentos da cadeira, ir em frente e mudar de direcção. No entanto, a cadeira só poderá iniciar o movimento nessa direcção se não detectar nenhum obstáculo que impossibilite o deslocamento da cadeira.

Se o utilizador pretender mudar a direcção do movimento com a cadeira em andamento, este terá de a imobilizar primeiro. De seguida deverá sinalizar a intenção de mudança de direcção, através do *bumper* tátil e posteriormente terá de garantir a intenção do movimento, como indica a figura 4.3. A cadeira mudará de direcção de acordo com a resolução, Δ , definida pelo utilizador na configuração inicial, ou seja a cadeira rodará sobre o seu eixo tantos graus como os que o utilizador especificou previamente.

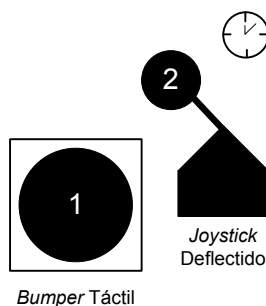


Figura 4.3: Ilustração de como mudar de direcção

Ao iniciar o movimento em frente, a cadeira entra no estado de aceleração, uma vez que

se deve garantir arranques suaves para proporcionar comodidade e confiança ao utilizador. Este estado de aceleração só se verifica até a cadeira atingir a sua velocidade máxima, v_{ss} , ou até ser encontrado um obstáculo na direcção do movimento. Ao atingir a velocidade máxima, estado estacionário, a cadeira permanece neste estado até ser encontrado um obstáculo a uma distância inferior à distância de observação, D_{obs} , ou até o utilizador manifestar intenção de paragem.

Se na direcção do movimento for encontrado um obstáculo a uma distância inferior à distância de observação, D_{obs} , este fará com que a cadeira passe ao estado de desaceleração, de forma a que a cadeira se consiga imobilizar antes de embater contra o obstáculo. Se por outro lado, o obstáculo encontrado for um obstáculo móvel e sair da direcção do movimento da cadeira, esta passará novamente ao estado de aceleração se não for detectado mais nenhum obstáculo, senão a cadeira imobilizar-se-á e passará ao estado LAM stop.

Uma vez no estado LAM stop, o sistema aguarda que o utilizador forneça outro comando, ir em frente ou mudar de direcção.

O aumento da velocidade é feito de acordo com a figura 4.4. A constante T_{acc} é definida *off-line* e representa o tempo que a cadeira mantém a velocidade antes de passar para o próximo nível. Estes diferentes níveis de velocidade pertencem a conjunto de valores discretos de velocidade V :

$$V = \{0, v_1, v_2, \dots, v_i, v_{N_{max}}\} \quad (4.1)$$

onde N_{max} é o número máximo de velocidades impostas ou disponíveis pela cadeira de rodas comercial.

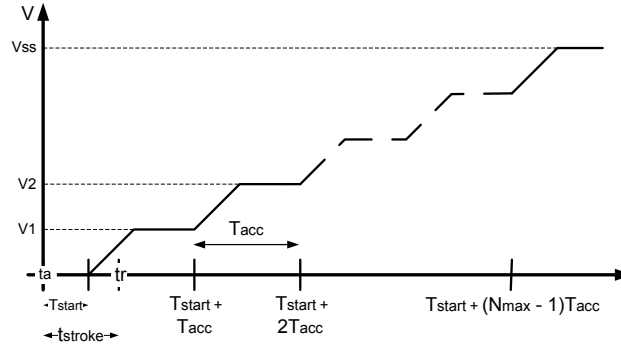


Figura 4.4: Aumento gradual da velocidade

Se o utilizador pretender imobilizar a cadeira, terá que dar um toque no *joystick* para trás, este toque é de igual forma um toque cuja intenção seja de garantir a paragem da cadeira, pelo que o utilizador também terá de deflectir o *joystick* por um determinado tempo. A diminuição da velocidade dependerá da forma da função representada em 4.5, onde T_{dacc} é a constante temporal definida *off-line*, a qual representa o tempo que a cadeira está num nível de velocidade antes de passar para o nível inferior.

Se durante o movimento, a cadeira variar a velocidade de acordo com a distância ao obstáculo, d_{obs} , então a velocidade da cadeira variará de acordo com o valor de d_{obs} . Isto dever ser notificado uma vez que a cadeira está em movimento e que d_{obs} está a diminuir com o tempo. Neste caso, tem-se:

4.1. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

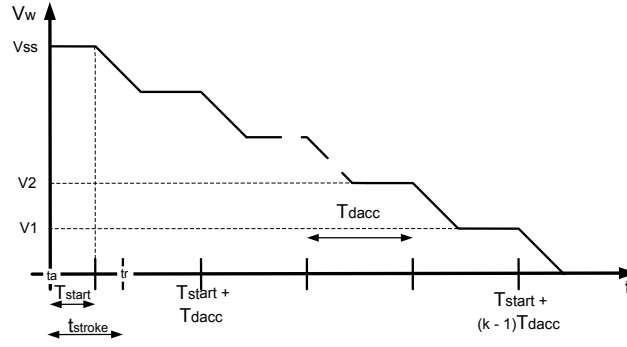


Figura 4.5: Diminuição gradual da velocidade

$$v_w = f(d_{obs}, v_k) \quad (4.2)$$

onde v_k é a velocidade que a cadeira possui quando entra na zona limite da distância de observação, D_{obs}

Se $v_w = v_k$, tem-se então o número de intervalos k e a velocidade que corresponde a uma certa distância, d_{obs} , é dada por:

$$v_{obs} = \left\lceil \frac{(d_{obs} - D_{saf}) * k}{D_{obs} - D_{saf}} \right\rceil \quad (4.3)$$

De uma forma mais precisa:

$$D_{obs} - D_{saf} = \sum_{i=1}^k \left(v_{ss} - \frac{i * v_{ss}}{k} \right) T_{dacc} \quad (4.4)$$

De forma a confirmar a veracidade das fórmulas apresentadas acima, apresenta-se um exemplo. Se a cadeira circular com velocidade máxima, $v_{ss} = v_3$, um decremento gradual da velocidade como apresentado na figura 4.6 pode ser imposto, de acordo com o número de intervalos $k = 3$.

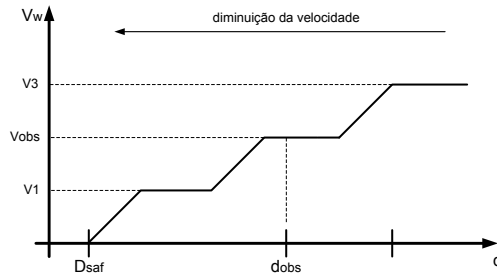


Figura 4.6: Decremento gradual da velocidade com 3 intervalos

Considerando a velocidade máxima da cadeira como $1,5m/s$ com um decréscimo de $0,5m/s$ a cada velocidade inferior, que a distância de segurança $D_{saf} = 0,20m$ e que $T_{dacc} = 2s$ tem-se que:

$$T = T_{dacc} * k - 1 = 2 * 3 - 1 = 4s \quad (4.5)$$

$$D_{obsv} - D_{saf} = \sum_{i=1}^k \left(v_{ss} - \frac{i * v_{ss}}{k} \right) T_{dacc} =$$

$$\left(1,5 - \frac{1 * 1,5}{3} \right) 2 + \left(1,5 - \frac{2 * 1,5}{3} \right) 2 + \left(1,5 - \frac{3 * 1,5}{3} \right) 2 = 3m \quad (4.6)$$

pelo que:

$$D_{obsv} - D_{saf} = 3 \Leftrightarrow D_{obsv} = 3 + 0,2 = 3,2 \quad (4.7)$$

Pelo que o respectivo escalonamento da velocidade em função da distância será:

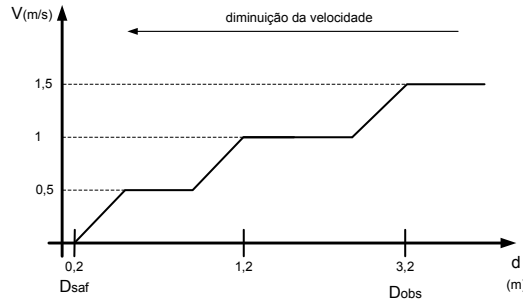


Figura 4.7: Escalonamento da velocidade da cadeira em função da distância ao objecto

Para o aumento gradual da velocidade, um método análogo será tido em conta, de forma a que a cadeira tenha em consideração a distância ao obstáculo mais próximo.

Se, por alguma razão a cadeira de rodas entrar na zona da distância de segurança ao obstáculo, então a transição para o modo *Legacy* deverá ocorrer imediatamente.

4.2 Parametrização do Modo LAM

Tendo em conta o modo de funcionamento do LAM descrito anteriormente, foi definido em [UFNL09] um conjunto de variáveis e constantes de forma a que a cadeira de rodas se ajuste ao seu utilizador.

4.2.1 Parâmetros e Variáveis de Estado

m_a : variável booleana que indica se o LAM está activado ou desactivado. Isto é feito pelo utilizador, no entanto, o sistema pode também desactivar este modo se ocorrer uma situação

4.2. PARAMETRIZAÇÃO DO MODO LAM

de emergência.

c_d : variável booleana que indica a mudança de direcção (ON ou OFF).

O toque no *joystick* é definido por duas variáveis:

t_{stroke} : intervalo de tempo correspondente à duração do toque $t_{stroke} = t_r - t_a$, onde $t_r > t_a$ e t_a é o instante no qual o *joystick* é activado em qualquer direcção e t_r é o instante no qual o *joystick* é largado.

α_{stroke} : ângulo de deflexão do *joystick* medido de 0° até 90° da direcção do movimento da cadeira no instante do toque. Neste caso, tem que se definir apenas os dois valores para α_{stroke} , por exemplo 180° e 270° para pessoas que consigam movimentar o *joystick* apenas para a esquerda.

Estes dois parâmetros permitem salvaguardar o movimento da cadeira se ocorrerem perturbações indesejadas. Como por exemplo, um toque involuntário no *joystick*, ou se outro utilizador com movimento do *joystick* diferente do que está programada a cadeira a tentar utilizar, esta não vai reagir, uma vez que os ângulos de deflexão são diferentes.

Durante a navegação, a distância aos obstáculos é calculada pela informação dos diversos sensores de proximidade e detecção de obstáculos acoplados na cadeira:

d_{obs} : menor distância ao obstáculo de entre as diversas distâncias obtidas pelo conjunto dos sensores de detecção de obstáculos posicionados na direcção do movimento.

Antes da operação em *run-time* da cadeira, existem alguns parâmetros que devem ser definidos:

T_{start} : duração mínima do toque do *joystick* para ser interpretado como comando de inicialização do movimento da cadeira (protege o sistema de toques involuntários no *joystick*, de picos de ruído).

T_{stop} : duração mínima do toque para ser interpretado como um comando de paragem de emergência.

D_{obsv} : limite da distância máxima na qual um obstáculo na direcção do movimento começa a ter consideração.

D_{saf} : distância mínima de segurança ao obstáculo, ou seja, distância máxima a que a cadeira deve parar por razões de segurança.

Δ : Ângulo de direcção que a cadeira pode rodar. Um Δ pequeno, significa mais direcções, no entanto também significa um grande número de toques para colocar a cadeira numa direcção específica.

Desta forma, redesenha-se a máquina de estados finitos (FSM), de forma a que possua todas as transições e variáveis de estado associadas (figura 4.8). A tabela 4.1 indica as condições, C , de transição entre os diversos estados.

C1	$m_a = ON$
C2	$T_{start} < t_{stroke} < T_{stop}$
C3	$d_{obs} < D_{saf}$
C4	$v_w = 0$
C5	$m_a = OFF$
C6	$t < t_{stroke} + kT_{acc}$
C7	$t > t_{stroke} + kT_{acc}$
C8	$D_{saf} < d_{obs} < D_{obsv}$
C9	$(T_{start} < t_{stroke} < T_{stop}) \& (180^\circ < \alpha_{stroke} < 360^\circ)$
C10	$T_{stroke} > T_{stop}$
C11	$C_d = ON$
C12	$C_d = OFF$

Tabela 4.1: Condições de transição entre os diversos estados

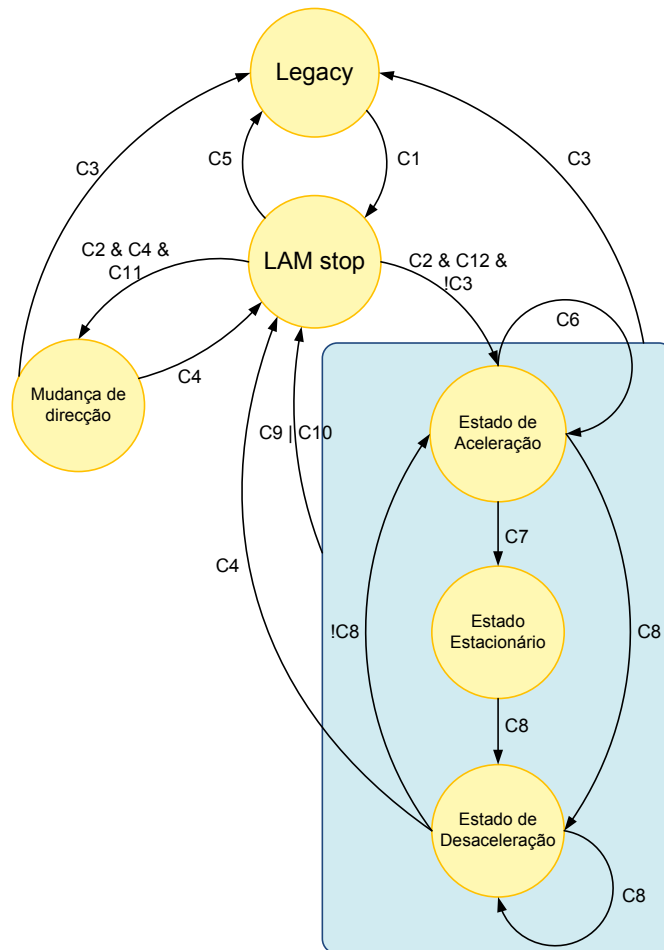


Figura 4.8: Máquina de estados finitos do modo de operação LAM

4.3 Arquitectura de Referência

Como já foi referido, a cadeira de rodas eléctrica assistida pode operar num de dois modos de funcionamento, o modo *Legacy* e o modo LAM. Para seleccionar qual o modo a utilizar, dois módulos deverão ser acrescentados à arquitectura da cadeira de rodas eléctrica comercial representada na figura 1.2.

Um destes módulos é o modo de selecção, que irá permitir seleccionar qual o modo de operação. O outro módulo é o de controlo adaptado, que é responsável pela navegação da cadeira de rodas eléctrica, apenas quando o modo LAM for seleccionado. Desta forma, a arquitectura da cadeira de rodas possuirá a configuração indicada na figura 4.9.

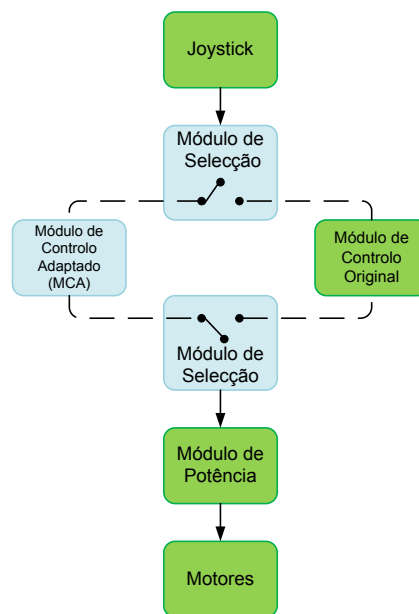


Figura 4.9: Arquitectura da APW

Os restantes módulos correspondem à arquitectura típica de um cadeira de rodas eléctrica comercial, em que o *Joystick* é o interface entre o utilizador e a cadeira de rodas, o Módulo de Controlo Original é o modo de controlo *standard* em cadeira de rodas eléctricas e o Módulo de Potência “transmite” aos Motores as “ordens” enviadas pelo Módulo de Controlo.

Capítulo 5

Implementação Base

5.1 Plataforma Base e Modificação

Para a implementação do sistema, possui-se uma cadeira de rodas eléctrica comercial que será a plataforma para implementar a proposta de trabalho. Esta cadeira de rodas possui um sistema de controlo *DX System*, da *Dynamics Controls*, cujo barramento é baseado em CAN (*Controller Area Network*), mais propriamente *DXBus*, que interliga o módulo de calibração do *joystick* com o módulo de potência, que se encontra representado na figura 5.1 [Con]. Este protocolo de comunicação, *DXBus*, é um protocolo baseado em CAN e está disponível em controladores de cadeiras de rodas eléctricas comerciais. Este sistema de controlo é um sistema proprietário, cujas especificações do protocolo não são totalmente conhecidas [Dal08].

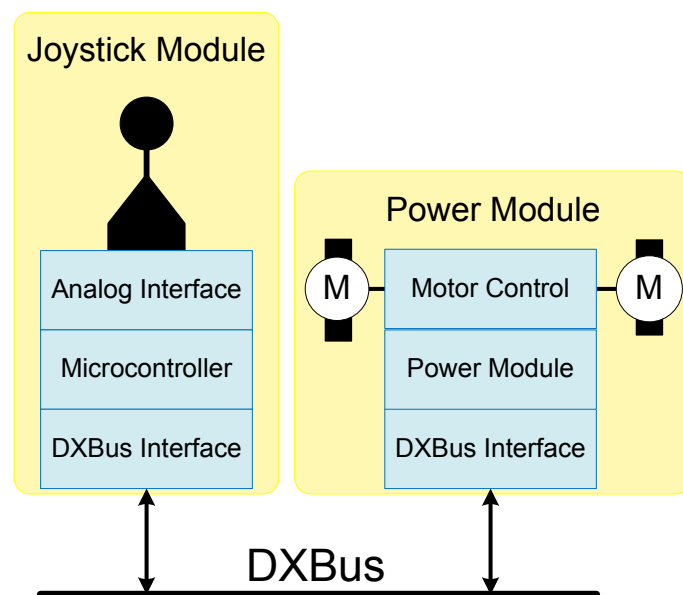


Figura 5.1: Arquitectura da cadeira de rodas eléctrica comercial

Esta parte do trabalho, implementação, tem como objectivo dotar a plataforma base de forma a que ambos os modos de operação, *Legacy* e LAM, funcionem em conformidade. Também se pretende que o trabalho elaborado não faça uso de recursos dispendiosos, uma

vez que se pretende que este seja acessível do ponto de vista económico.

5.2 Possíveis Abordagens

Uma vez que se pretende efectuar o controlo da cadeira sem que seja necessário uma interacção contínua com o *joystick*, apenas o impulso inicial de controlo é requerido, deve-se efectuar um mecanismo de emulação das ordens enviadas do *joystick* quando este não se encontra deflectido após o impulso inicial, de forma a garantir o movimento da cadeira.

Tomando como referência a figura da arquitectura do sistema, figura 5.1, pode-se observar que possui-se duas maneiras distintas de abordar a nossa proposta de trabalho:

1. Efectuar o tratamento dos sinais ao nível analógico, à saída do *joystick*
2. Interceptar as mensagens no barramento, para posterior manipulação (*bridging* das mensagens)

Para efectuar o acondicionamento dos sinais analógicos à saída do *joystick*, teria de se utilizar ADC's e DAC's, como mostra a figura 5.2, para manipular os níveis de tensão debitados em cada posição do *joystick*, bem como a calibração entre os diferentes sinais analógicos, o que iria proporcionar o desenvolvimento de algum *hardware* e *software*.

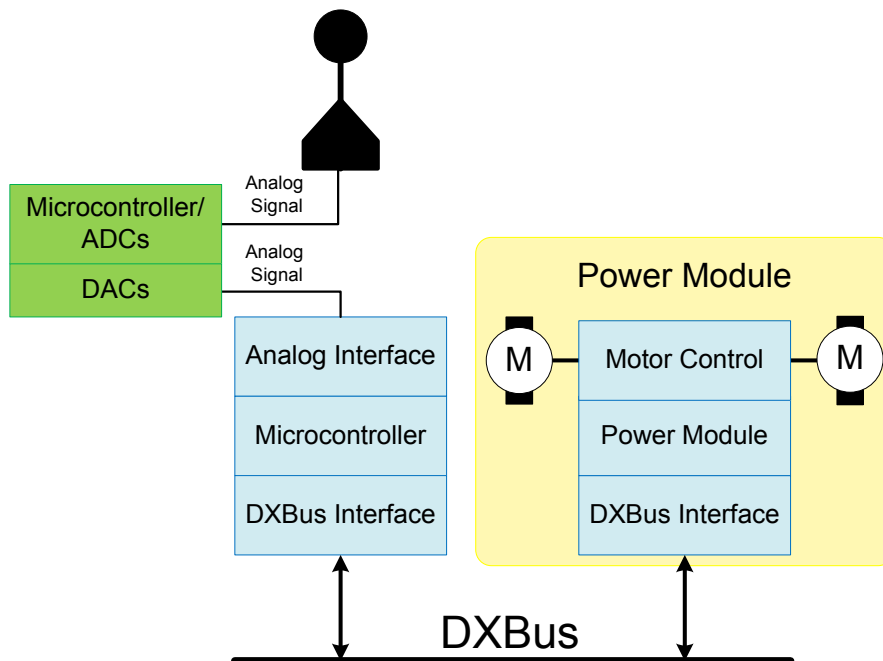


Figura 5.2: Tratamento dos sinais ao nível analógico

Como se pretende que o *hardware* utilizado seja apenas o indispensável, para que o sistema seja acessível a todo e qualquer utilizador, e que seja o menos intrusivo possível, optou-se por interceptar as mensagens no barramento. Este método consiste na introdução de um novo nodo no barramento, figura 5.3, que vai ser responsável por retransmitir e emular as mensagens de controlo quando necessário.

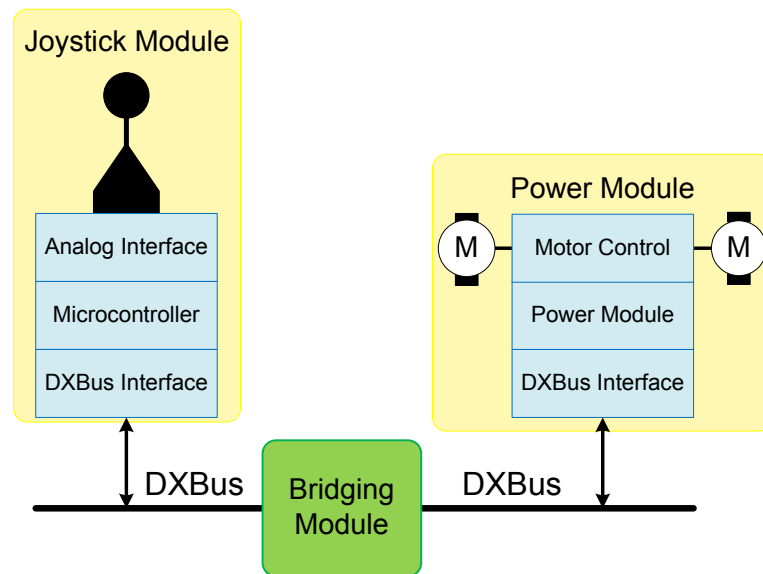


Figura 5.3: Ponto de inserção do módulo de *bridging*

5.3 Análise do Comportamento do DXBus

5.3.1 Objectivos

Dado que o método de intervenção na arquitectura do sistema é interceptar as mensagens no barramento para posterior manipulação, tal facto implica que se conheçam as especificações do mesmo para a introdução de um novo nodo, o qual será responsável pelo *bridging* e manipulação das mensagens.

Uma pesquisa prévia permitiu saber que o DXBus é um sistema de comunicação com um comprimento máximo de quinze metros e com uma taxa de transmissão de 2/19 Mbits/s, possuindo duas linhas de alimentação, massa e 24V, e duas linhas de dados, CAN_H e CAN_L . Este sistema de comunicação faz uso do protocolo CAN com algumas extensões, isto é, utiliza valores “especiais” de tensão nas linhas de dados para as condições de paragem de emergência ou de “*power up*”.

Durante a operação normal do sistema, os módulos DX comunicam entre si através de *Networks Variables* (NVs), que são transmitidas periodicamente com um período de 20ms (fast NVs) ou 200ms (slow NVs) [ADdRS⁺].

Desta forma, existe um conjunto de informação que deve ser reunida para que o trabalho possa ser concretizado com sucesso. Esta informação passa por conhecer as mensagens que fluem no barramento assim como o seu time stamping e a sua precedência. Também se pretende conhecer os valores de tensão “especiais” na linha de dados e quando ocorrem.

5.3.2 Ferramentas Necessárias

Para que a informação necessária à decodificação do DXBus seja reunida, teve de ser utilizado um conjunto de ferramentas para análise do barramento:

- Um módulo da PEAK System, um PCAN-USB, representado na figura 5.4, para efectuar

o *sniffing* das mensagens no barramento.



Figura 5.4: PCAN-USB, módulo de interface entre USB e CAN

- A ferramenta *BRCAN-Bus Timing Calculation*, disponível no site da *PEAK System*¹, para determinar o valor da *baud rate*, BTR1/BTR0, a colocar no registo *baud rate* da ferramenta PCAN-ViewUSB.
- Um osciloscópio digital, 1001B da Tektronics, para capturar os valores de tensão “especiais”.
- Um micro controlador, dsPIC 30f6012a (apêndice B), para captura das mensagens e dos *timings* associados.

5.3.3 Resultados

Sniffing das Mensagens

Numa primeira fase, utilizou-se o PCAN-USB para efectuar o *sniffing* das mensagens no barramento, como mostra a figura 5.5. O valor a colocar no registo *baud rate* da ferramenta PCAN-ViewUSB, que foi obtido com a ajuda da ferramenta *BRCAN-Bus Timing Calculation*, que são aplicações para computador, foi o valor 0x833D, devido ao facto de que para um barramento de velocidade baixa/media, é recomendado que este seja amostrado três vezes².

Assim, com o valor da *baud rate*, foi possível capturar as mensagens que circulam no barramento. Desta forma, verifica-se que as mensagens são sete, cada uma com ID distinto da outra, como mostra a tabela 5.1. Verifica-se também que apesar de não terem sido instruídas ordens na cadeira, as mensagens circulam no barramento, uma vez que os contadores associados às mensagens não deixam de incrementar. Tal facto era de prever, uma vez que os módulos DX comunicam entre si através de *Networks Variables*, como foi referido anteriormente.

Ao movimentar o *joystick*, verificou-se que o campo de dados da mensagem com ID 0x40 aumentou de 5 para 7 bytes e que o campo de dados da mensagem com ID 0x08 aumentou de 3 para 7 bytes. O valor dos bytes no campo de dados da mensagem com ID 0x40 alteram-se

¹<http://www.peak-system.com>

²mais informações no *datasheet* da NXP SJA1000 CAN controller, dado que o componente é referenciado nas especificações online do PCAN-USB

5.3. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO DXBUS

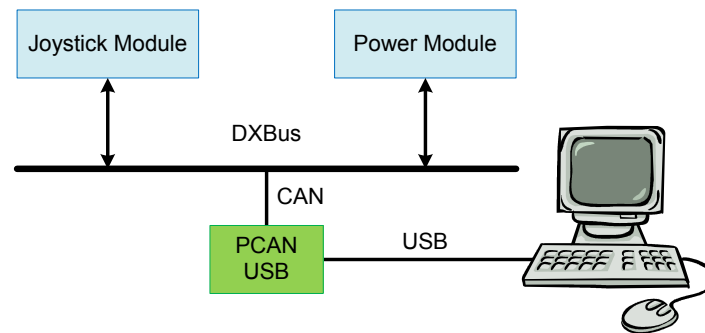


Figura 5.5: Procedimento para captura das mensagens

Message	Length	Data	Period	Count
008h	7	B0 01 25 07 00 0F FF	18	4119
040h	7	B0 01 25 03 06 02 52	20	3751
0AAh	2	AA 04	20	3767
29Ch	3	00 03 1A	99	746
29Dh	3	Remote Request	100	746
2BCh	3	03 00 0A	99	746
2BDh	3	Remote Request	99	746

Tabela 5.1: Mensagens enviadas através barramento

com a deflexão do *joystick*, no entanto o campo de dados das restantes mensagens não sofre alteração.

De forma a compreender em que sentido é que ocorre cada mensagem, interrompeu-se o barramento, primeiramente no sentido *Joystick* – Módulo de Potência e em seguida no sentido inverso. Este teste permitiu perceber que apenas a mensagem com ID 0x08 circula no sentido Módulo de Potência – *Joystick*, enquanto as restantes circulam no sentido inverso, como mostra a figura 5.6.

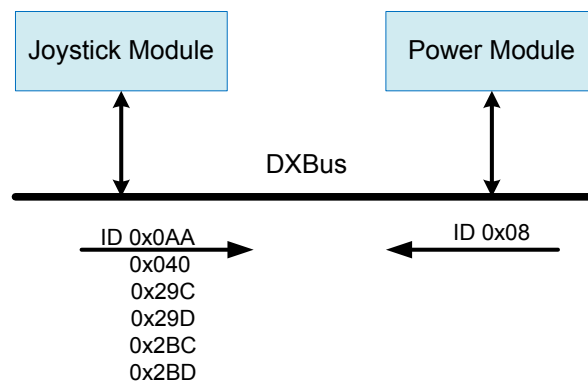


Figura 5.6: Fluxo das mensagens

Desta forma, efectuou-se um apanhado das mensagens que circulam nas diferentes posições

do *joystick*³ e nas posições intermédias para se tentar compreender que tipo de mensagem é enviada no campo de dados, ver figura 5.7.

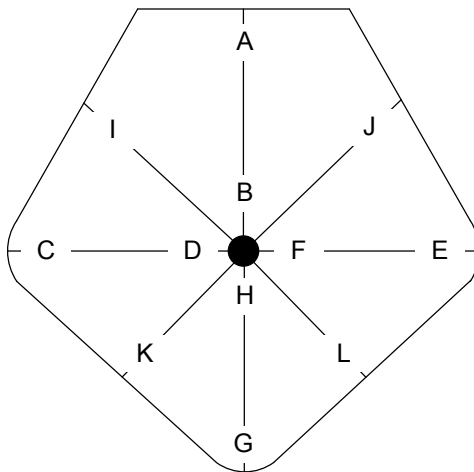


Figura 5.7: Pontos de captura das mensagens

Ao efectuar este teste de descodificação das mensagens, verificou-se que o campo de dados da mensagem com ID 0x08 permanece estático, tanto com 3 bytes como quando se altera para 7 bytes após a manipulação do *joystick*. Quanto à mensagem com ID 0x40 apenas o 5º e o 7º byte do campo de dados sofrem alteração quando é modificada a posição do *joystick*, ver tabela 5.2.

Posição	Campo de dados
A	B0 01 25 03 00 02 7F
B	B0 01 25 03 00 02 00
C	B0 01 25 03 C0 02 00
D	B0 01 25 03 FF 02 00
E	B0 01 25 03 40 02 00
F	B0 01 25 03 00 02 00
G	B0 01 25 03 00 02 AA
H	B0 01 25 03 00 02 FF
I	B0 01 25 03 E0 02 55
J	B0 01 25 03 20 02 5A
K	B0 01 25 03 E0 02 D6
L	B0 01 25 03 20 02 D1

Tabela 5.2: Mensagem com ID 0x40 nas diversas posições

Com um olhar mais cuidadoso sobre a tabela 5.2, pode-se verificar que o 5º e o 7º byte da mensagem com ID 0x40, variam segundo um eixo de coordenadas cartesiano, sendo o 5º byte representante do eixo dos XX's e o 7º byte representante do eixo dos YY's. Também se verifica que para números negativos nos respectivos eixos, estes encontram-se representados

³Campo de dados das mensagens com ID 0x40 e 0x08

5.3. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO DXBUS

em complemento para dois. Por exemplo, na posição E, a coordenada correspondente ao eixo dos XX's possui o valor 0x40, enquanto que na posição C, a coordenada correspondente ao eixo dos XX's possui o valor 0xC0. Ao efectuar o complemento para dois do valor 0x40 ...

$$\begin{array}{c} 0x40 \longrightarrow 01000000_{(2)} \\ \downarrow \text{Complemento para 2} \\ 11000000_{(2)} \\ \downarrow \text{valor em hexadecimal} \\ 0xC0 \end{array}$$

Desta forma, pode-se concluir que a representação dos números negativos está efectivamente representada em complemento para 2, uma vez que faz todo o sentido que a gama de valores para a posição esquerda e direita seja a mesma. Também se verifica uma maior gama de valores para a posição frente do que para a posição trás.

Condição de “Power Up”

As condições de “power up” da cadeira de rodas foram capturadas com ajuda de um osciloscópio digital, 1001B da Tektronics, e com algumas das suas funcionalidades, tal como a utilização da função “single seq” e a variação do nível de *trigger*, para que os valores de tensão especiais sejam capturados. Assim, obteve-se o sinal representado na figura 5.8.

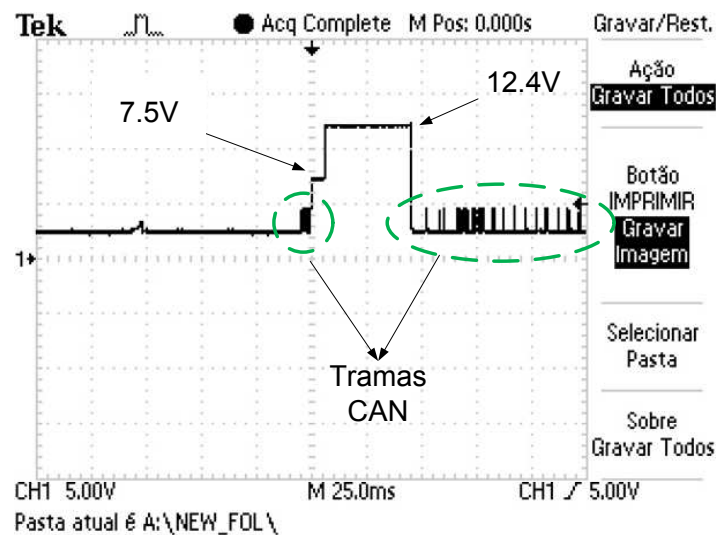


Figura 5.8: Condição de “power up” da cadeira

Ao analisar esta figura, verifica-se que entre as mensagens CAN surgem no barramento valores distintos de tensão, 7,5V e 12,4V, com uma duração de aproximadamente 50ms.

Time Stamping das Mensagens

A precedência e os instantes temporais em que decorre a sequência de mensagens foram obtidos através do micro controlador, dsPIC 30F6012a, como módulo de *sniffing*, a partir do qual se retirou a informação da tabela 5.3.

A figura 5.9 ilustra o procedimento utilizado para obter a precedência e os instantes temporais das mensagens.

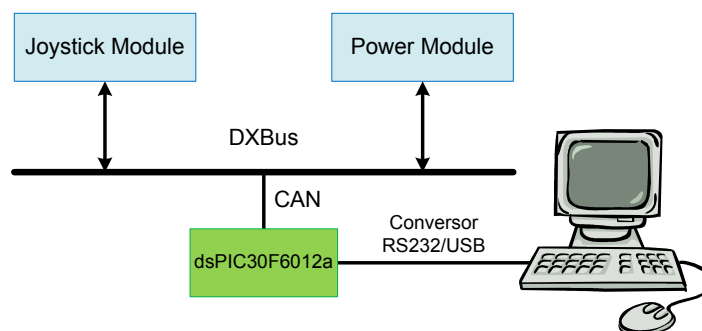


Figura 5.9: Procedimento para obtenção da precedência e dos instantes temporais das mensagens

Id (h)	Timer (10)	DLC	N de incrementos	Tempo (ms)	N bits	Tempo de Transmissão (s)	Início de Transmissão (s)	Tempo Absoluto (s)
0008	54238	7	244699	12,23495	100	0,00095	0,01128495	2,30001
0008	9989	5	21286	1,0643	84	0,000798	0,0002663	2,30107
00AA	64157	2	54168	2,7084	60	0,00057	0,0021384	2,30378
0040	48221	3	49599	2,47995	68	0,000646	0,00183395	2,30626
029C	29805	3	47119	2,35595	68	0,000646	0,00170995	2,30861
0008	60617	5	227417	11,37085	84	0,000798	0,01057285	2,31999
00AA	5372	2	75825	3,79125	60	0,00057	0,00322125	2,32378
0040	53442	3	48070	2,4035	68	0,000646	0,0017575	2,32618
02BC	23455	3	35548	1,7774	68	0,000646	0,0011314	2,32796
0008	2011	5	240696	12,0348	84	0,000798	0,0112368	2,33999
00AA	11923	2	75447	3,77235	60	0,00057	0,00320235	2,34377
0040	60382	3	48459	2,42295	68	0,000646	0,00177695	2,34619
0008	8941	5	276234	13,8117	84	0,000798	0,0130137	2,35999
00AA	18663	2	75257	3,76285	60	0,00057	0,00319285	2,36376
0040	1977	3	48849	2,44245	68	0,000646	0,00179645	2,36620
029D	32577	3	30600	1,53	68	0,000646	0,000884	2,36773
0008	15320	5	244883	12,24415	84	0,000798	0,01144615	2,37998
00AA	25414	2	75629	3,78145	60	0,00057	0,00321145	2,38376
0040	8907	3	49028	2,4514	68	0,000646	0,0018054	2,38621
02BD	38737	3	29830	1,4915	68	0,000646	0,0008455	2,38770
0008	22430	5	245833	12,29165	84	0,000798	0,01149365	2,39999
00AA	31964	2	75069	3,75345	60	0,00057	0,00318345	2,40375
0040	15638	3	49209	2,46045	68	0,000646	0,00181445	2,40621
029C	62777	3	47139	2,35695	68	0,000646	0,00171095	2,40857
0008	29380	5	228743	11,43715	84	0,000798	0,01063915	2,42000
00AA	38715	2	74870	3,7435	60	0,00057	0,0031735	2,42375
0040	23529	3	50349	2,51745	68	0,000646	0,00187145	2,42626
02BC	59078	3	35549	1,77745	68	0,000646	0,00113145	2,42804

Continua na página seguinte

5.4. ADAPTAÇÃO DA PLATAFORMA

Continuação da página anterior								
Id (h)	Timer (10)	DLC	N de incrementos	Tempo (ms)	N bits	Tempo de Transmissão	Início de Transmissão	Tempo Absoluto
0008	36320	5	239382	11,9691	84	0,000798	0,0111711	2,44001
00AA	45456	2	74671	3,73355	60	0,00057	0,00316355	2,44374
0040	31619	3	51698	2,5849	68	0,000646	0,0019389	2,44633
0008	42659	5	273180	13,659	84	0,000798	0,012861	2,45999
00AA	52006	2	74882	3,7441	60	0,00057	0,0031741	2,46373
0040	36260	3	49789	2,48945	68	0,000646	0,00184345	2,46622
029D	1313	3	30588	1,5294	68	0,000646	0,0008834	2,46775
0008	49989	5	245281	12,26405	84	0,000798	0,01146605	2,48001
00AA	58757	2	74303	3,71515	60	0,00057	0,00314515	2,48373
0040	42811	3	49589	2,47945	68	0,000646	0,00183345	2,48620
02BD	7124	3	29848	1,4924	68	0,000646	0,0008464	2,48770
0008	57309	7	246790	12,3395	100	0,00095	0,0113895	2,50004
0008	13051	5	21277	1,06385	84	0,000798	0,00026585	2,50111

Tabela 5.3: Time stamping das mensagens no barramento

Após a análise do *time stamping* das mensagens, da descoberta do macro ciclo e do cálculo dos instantes de transmissão, reuniu-se todas as condições para implementar o módulo responsável pela retransmissão ou emulação das mensagens, *bridging* das mensagens. A tabela representada apenas nos mostra as condições no regime estacionário, durante sensivelmente 200ms que é o tempo correspondente à duração de um macro ciclo. Existe contudo um regime transitório no momento da activação da cadeira, onde neste fluem as condições iniciais que já foram referenciadas anteriormente.

A figura 5.10 representa esquematicamente a sequência de mensagens correspondentes a um macro ciclo. Através da mesma figura pode-se também observar qual o sentido de cada mensagem, assim como a sua precedência e os instantes em que cada mensagem ocorre.

5.4 Adaptação da Plataforma

Após o estudo das mensagens e das condições iniciais que fluem no barramento, está-se apto a efectuar o ponto realmente importante do trabalho e a partir do qual todo o trabalho futuro se desenvolverá. Este ponto consiste na captura e retransmissão das mensagens, alteradas ou não por um novo módulo, *bridging* das mensagens. Este novo módulo terá a função de intercepção do barramento de forma a conseguir capturar as diversas mensagens para uma posterior retransmissão para o nó destino, uma vez que se pretende que o utilizador não interage continuamente com o *joystick* e a cadeira continue o movimento.

5.4.1 Descrição do *Hardware*

O micro controlador utilizado para a execução deste módulo de *bridging* foi o dsPIC 30F6012a, uma vez que possui dois controladores CAN e cada controlador dispõe ainda de dois *buffers* de recepção⁴ e três *buffers* para transmissão, o que nos permite alguma “folga” para a manipulação das diversas mensagens.

No entanto, o módulo apenas com o micro controlador e os dois controladores CAN revela-se insuficiente, uma vez que os transceivers CAN não resolvem o problema das condições de “*power up*” da cadeira, pelo que é necessário acoplar um *switch* SPDT⁵ para efectuar comutações no barramento (apêndice C).

⁴excluindo o MAB, *Message Assembly Buffer*

⁵SPDT → *Single-Pole/Double Throw*

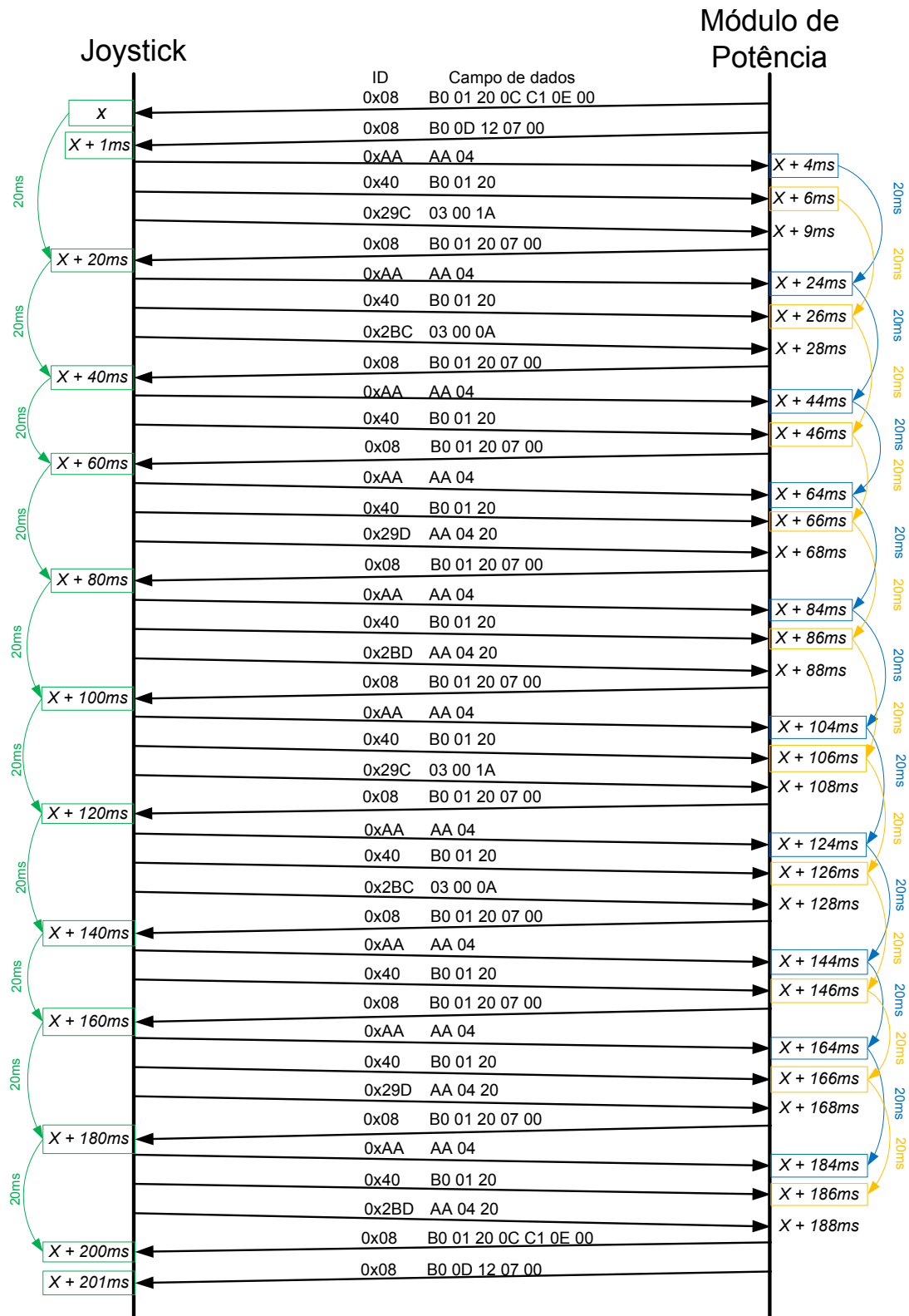


Figura 5.10: Esquematização da sequência de mensagens

5.4.2 Bridging Event Triggered

Numa primeira fase, este novo módulo, que chamar-se-á módulo de *bridging*, receberá uma mensagem num dos controladores CAN existentes no dsPIC e retransmitirá a mesma mensagem num dos *buffers* de transmissão do outro controlador CAN. Nesta fase, pressupõe-se que este módulo de *bridging* não cause perturbações no barramento e que a cadência de mensagens se efectue no seu percurso normal.

Hardware Necessário

Para que este módulo de *bridging* funcione, teve de ser incorporado um circuito de comparação ao *hardware* descrito anteriormente (apêndice D). Desta forma, o circuito de comparação monitoriza a linha de dados CAN_H, na qual passam os valores de tensão especiais referidos anteriormente. Quando é detectado um nível de tensão superior ao das tramas CAN, o circuito comparador actuará no *switch*, efectuando a comutação do módulo de *bridging* para o barramento, de forma a que os valores de tensão especiais passem em direcção ao módulo de potência e não fiquem “retidos” no módulo de *bridging*. Para que pequenas perturbações no barramento não causem comutações indesejadas, foi projectado também um ciclo de histerese para a comutação entre o barramento e o módulo de *bridging*. Este ciclo de histerese permite que a comutação se efectue com um intervalo de cerca de 500mV. Ou seja para a comutação V_{TH} , o valor na linha de dados CAN_H tem de subir ao valor 6V, e para a comutação V_{TL} o valor de tensão terá de descer aos 5.5V⁶. A representação do modelo deste circuito encontra-se representada na figura 5.11.

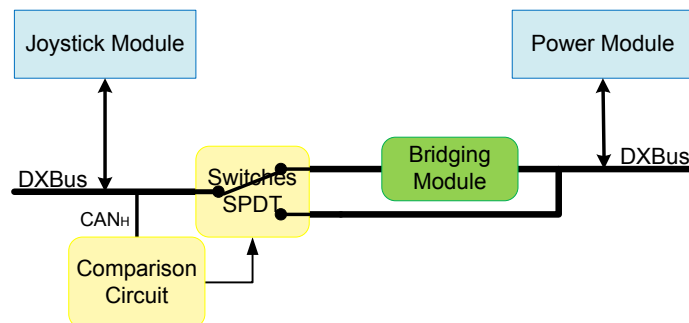


Figura 5.11: Circuito de comparação e *switches* SPDT na comutação do barramento

A operação do módulo de *bridging* no modo *Legacy* apenas efectuará a retransmissão das mensagens recebidas nos controladores CAN do dsPIC, sem alteração das mesmas. No modo LAM, o módulo de *bridging* emulará as mensagens recebidas de forma a que cadeia continue o movimento após a intenção de movimento, não necessitando desta forma de uma interação constante com o *joystick*.

Descrição do Software

Quando uma mensagem é transmitida por um nó, esta terá que forçosamente passar pelo módulo de *bridging* antes de chegar ao nó destino. No módulo de *bridging*, quando a recepção

⁶Estes valores do ciclo de histerese foram ajustados com ajuda de um potenciômetro

da mensagem for sinalizada via interrupção, será efectuada uma cópia da mensagem para um dos *buffers* de transmissão livre do outro controlador CAN para que se proceda à retransmissão da mensagem para o nó destino. No entanto, este modo de *bridging* causa um atraso temporal na cadência natural das mensagens, uma vez que o controlador CAN sinaliza a recepção da mensagem quando esta for recebida na sua totalidade, sendo posteriormente efectuada a cópia da mensagem para um dos *buffers* de transmissão do outro controlador CAN, ver figura 5.12. Outra consequência desta implementação é que ajuda a provocar um aumento do atraso temporal é a mudança de contexto do processador quando é sinalizada a interrupção. Deste modo, cada mensagem chega ao nó destino com um atraso temporal provocado pelo módulo de *bridging* em consequência do “*store and forward*” de cada mensagem, a figura 5.14, faz alusão a este aspecto, e o impacto que pode causar no sistema se os *timings* não forem cumpridos. A figura 5.13 apresenta a *time-line* das mensagens no barramento sem a introdução o módulo de *bridging*.

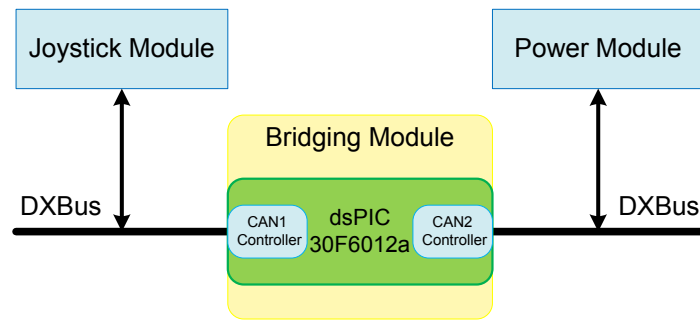


Figura 5.12: Tráfego das mensagens no barramento

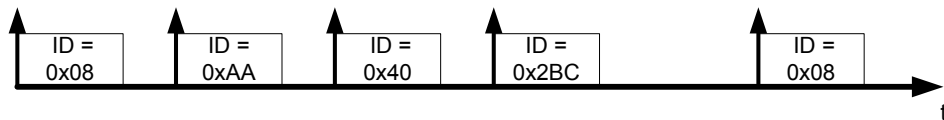


Figura 5.13: *Time-line* das mensagens no barramento original

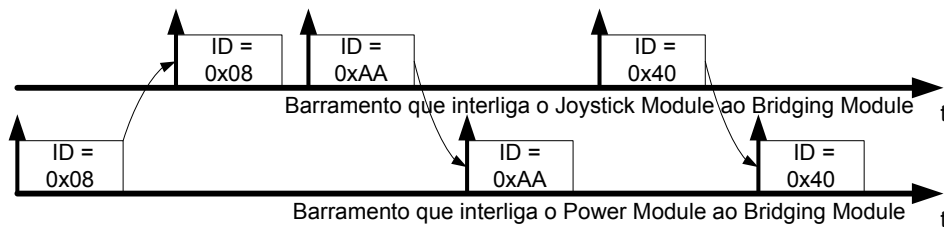


Figura 5.14: *Time-line* das mensagens aquando da inserção do módulo de *bridging*

5.4.3 *Bridging Time Triggered*

O modo de implementação do *bridging* mencionado anteriormente causa atrasos na sequência das mensagens, e associado aos atrasos o incumprimento dos “*timings*” no surgimento natural das mensagens. Quando uma mensagem é transmitida, por exemplo, do *joystick* para o módulo de potência, a fase de envio da mensagem divide-se em duas etapas. A primeira etapa surge quando o envio se dá por parte do *joystick*, em que o barramento que interliga o controlador CAN1 da figura 5.12 possui tráfego, enquanto o barramento que interliga o controlador CAN2 ao *joystick* só irá possuir tráfego após a mensagem ter sido copiada para um dos *buffers* de transmissão do controlador CAN2 e se ter iniciado a transmissão, ficando desta vez o barramento que interliga o *joystick* ao controlador CAN1 sem tráfego, figura 5.14. Dado que o *bridging event triggered* acarreta consequências que poderão ser prejudiciais ao bom funcionamento do sistema, implementou-se outro modo de *bridging*, o *bridging time triggered*.

Este novo modo de *bridging* não provoca atrasos na sequência natural das mensagens, despoleta apenas o envio simultâneo da mensagem com o mesmo ID, do nó que iniciou o envio, com a salvaguarda que a mensagem que o controlador CAN envia é a mensagem que foi enviada previamente por esse nó, com o ID correspondente. Tomando como referência a figura 5.12, e dado que se pretende suprimir o desrespeito dos *timings* na sequência de mensagens, quando o *joystick* envia uma mensagem para o controlador CAN1, o controlador CAN2 envia em simultâneo a mensagem com o mesmo ID mas com o campo de dados da mensagem com o mesmo ID que foi enviada previamente pelo *joystick*. Desta forma, o desrespeito dos *timings* das mensagens são superados à custa de um atraso temporal de um ciclo de mensagens.

Descrição do *Software*

O fluxograma da figura 5.15 elucida a forma de como todo o modo de processamento e reencaminhamento das mensagens se irá processar neste novo modelo de *bridging*.

Desta vez não se necessita do circuito autónomo de comparação, mas de *buffers* para armazenar as mensagens para posterior transmissão. Inicialmente deixa-se que as condições de “*power up*” da cadeira fluam no seu percurso normal, assim como o estado transitório para que posteriormente, no estado estacionário, se proceda à comutação. A comutação tem que ocorrer num instante preciso, para que não decorram perturbações na sequência de mensagens. O instante de comutação acontecerá quando a sequência de mensagens com ID 0x08, 0x08, 0xAA, 0x40, 0x29C ocorrer. Este instante deve-se ao facto de o tempo entre a mensagem com ID 0x29C e a mensagem seguinte, 0x08, ser de aproximadamente 10ms, o que nos garante tempo suficiente para efectuar a comutação do barramento sem que daí resultem perturbações. No entanto, para que o modo de *bridging* comece a funcionar em pleno, os *buffers* correspondentes ao armazenamento das diversas mensagens já devem possuir as mensagens para a transmissão. Assim, introduziu-se um estado de monitorização do barramento, que na primeira instância da ocorrência da sequência de mensagens vai-nos permitir armazenar as mensagens nos *buffers* de mensagens, e na instância seguinte proceder-se-á à comutação para que o início do *bridging time triggered* ocorra sem anomalias para o correcto funcionamento da cadeira.

A implementação do *software* no microcontrolador seguiu uma implementação baseada em interrupções, tanto para a recepção como para despoletar o envio de uma mensagem armazenada num dos *buffers* de recepção das mensagens.

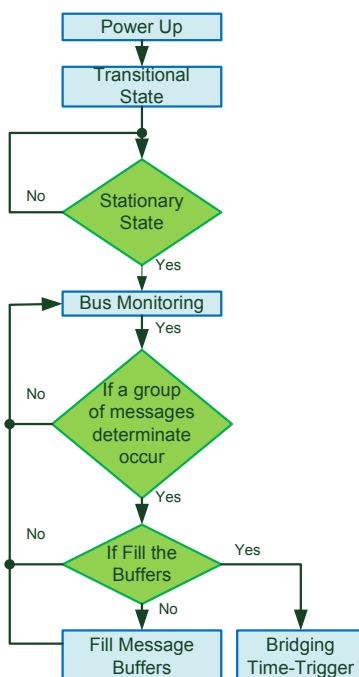


Figura 5.15: Fluxograma do funcionamento do *bridging time triggered*

O tempo de carregar uma mensagem num dos *buffers* de transmissão é menor que o tempo que o micro controlador está a espera que uma mensagem seja efectivamente recebida. Desta forma assegura-se que nenhuma mensagem seja perdida nem que haja conflitos entre as acções de envio e recepção de mensagens.

Uma vez que o micro controlador em causa possui apenas 5 *timers* e as mensagens existentes são sete, teve de ser efectuado um mecanismo de manipulação entre o envio de mensagens. Desta forma, uma análise sobre o tempo que decorre entre as diversas mensagens foi efectuado e encontra-se representado na tabela 5.4. A partir da análise da tabela, chega-se à conclusão que as mensagens com um período de 100ms estão relacionadas temporalmente por múltiplos de 20ms. Desta forma, pode-se utilizar apenas um *timer* para manipular o envio destas quatro mensagens. No entanto, a mensagem com ID 0x08 a cada 200ms, início de cada macro ciclo, transporta no seu campo de dados uma mensagem com 7 bytes, distinta das restantes, e 1ms após a mensagem com 7 bytes, surge no barramento uma mensagem com o mesmo ID mas com 5 bytes no seu campo de dados e em que o segundo byte é distinto das restantes mensagens com 5 bytes. Este facto implica ter um *timer* com um período de 200ms desfasado de 1ms da mensagem com ID 0x08 com 7 bytes no seu campo de dados. Desta forma tem-se:

- *Timer* 1: despoleta o envio da mensagem com ID 0x08 com cadência de 20ms
- *Timer* 2: despoleta o envio da mensagem com ID 0xAA com cadência de 20ms
- *Timer* 3: despoleta o envio da mensagem com ID 0x40 com cadência de 20ms

5.4. ADAPTAÇÃO DA PLATAFORMA

- *Timer* 4: despoleta o envio das mensagens com ID 0x2BC, 0x29D, 0x2BD e 0x29C com cadência de 20ms⁷
- *Timer* 5: despoleta o envio da mensagem com ID 0x08 com cadência de 200ms

Dado que as condições para o correcto funcionamento do sistema estão analisadas, tratar-se-á agora das condições iniciais ao arranque do sistema. Como foi referido anteriormente, o instante de comutação dá-se num instante pré-determinado para que não ocorram perturbações no funcionamento normal da cadeia. Desta forma, os *timers* têm que ser sincronizados no instante de comutação para que posteriormente estabeleçam o seu ciclo normal de funcionamento. Uma vez que a comutação se processa a seguir à sequência de mensagens 0x08, 0x08, 0xAA, 0x40, 0x29C, a primeira instância de interrupções dos *timer* acontecerá de acordo com o intervalo de tempo decorrido entre a recepção da mensagem com ID 0x29C e o início de transmissão de cada mensagem associada ao seu *timer*.

Analisando a tabela 5.3 verifica-se que a mensagem com ID 0x29C chega ao módulo de *bridging* no instante 2,30861s pelo que a primeira instância dos *timers* terá de ter em conta o intervalo de tempo decorrido entre a recepção da mensagem com ID 0x29C e o início da transmissão da mensagem associada ao respectivo *timer*. A figura 5.16 mostra a primeira instância dos *timers*.

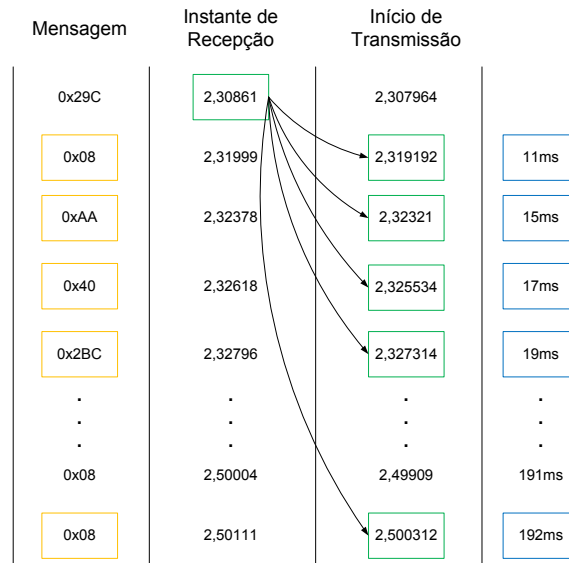


Figura 5.16: Esquematização da sequência de mensagens

Assim, para primeira instância tem-se:

- *Timer* 1: primeiro envio após 10ms da recepção da mensagem com ID 0x29C
- *Timer* 2: primeiro envio após 15ms da recepção da mensagem com ID 0x29C

⁷A cada 20ms é despoletado um envio de uma mensagem diferente, no entanto, entre o envio da mensagem com ID 0x29C e 0x29D é gerado uma interrupção do *timer* que apenas limpa a *flag* de interrupção, uma vez que não é necessário efectuar o envio de nenhuma mensagem.

ID		0xAA			0x40			0x08			0x29C			0x29D			0x2BC			0x2BD		
	(h)	Tempo Absoluto	Tempo	Periodo	Tempo Absoluto	Tempo	Periodo	Tempo Absoluto	Tempo	Periodo	Tempo Absoluto	Tempo	Periodo	Tempo Absoluto	Tempo	Periodo	Tempo Absoluto	Tempo	Periodo	Tempo Absoluto		
8	8	2,3000	-	-	-	-	-	2,3000	19,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	00AA	2,3011	-	-	-	-	-	2,3011	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
40	2,3038	19,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	029C	2,3066	-	-	19,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
8	2,3086	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	00AA	2,3199	-	-	-	-	-	2,3199	18,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
40	2,3238	19,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	02BC	2,3262	-	-	19,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
8	2,3279	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	00AA	2,3399	-	-	-	-	-	2,3399	20,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
40	2,3438	19,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	029D	2,3462	-	-	20,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
8	2,36	-	-	-	-	-	-	2,36	20,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	00AA	2,3638	19,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
40	2,3662	-	-	-	20,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	029D	2,3677	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
8	2,3799	-	-	-	-	-	-	2,3799	19,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	00AA	2,3838	19,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
40	2,3862	-	-	-	20,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	02BD	2,3877	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
8	2,3999	-	-	-	-	-	-	2,3999	20,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	00AA	2,4037	19,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
40	2,4062	-	-	-	19,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	029C	2,4086	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
8	2,4200	-	-	-	-	-	-	2,4200	20,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	00AA	2,4237	19,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
40	2,4263	-	-	-	20,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	02BC	2,4280	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
8	2,4400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	00AA	2,4437	19,9	-	-	-	-	2,4400	20,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
40	2,4463	-	-	-	20,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	8	2,4599	-	-	-	-	-	2,4463	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
00AA	2,4637	19,9	-	-	-	-	-	2,4599	19,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	40	2,4662	-	-	19,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
029D	2,4678	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	8	2,4800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
00AA	2,484	19,9	-	-	-	-	-	2,4800	20,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	40	2,4862	-	-	19,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
02BD	2,4877	-	-	-	-	-	-	2,4862	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	8	2,5000	-	-	-	-	-	2,5000	20,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
8	2,5011	-	-	-	-	-	-	2,5011	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

Tabela 5.4: Periodicidade das mensagens no barramento

- *Timer* 3: primeiro envio após 17ms da recepção da mensagem com ID 0x29C
- *Timer* 4: primeiro envio após 19ms da recepção da mensagem com ID 0x29C
- *Timer* 5: primeiro envio após 192ms da recepção da mensagem com ID 0x29C

Desenvolvimento do *Software*

O *software* elaborado encontra-se dividido em vários ficheiros:

- Device_Drivers.c que contem as funções de inicialização e comunicação da UART, assim como as funções de inicialização dos *timers* e as respectivas rotinas de atendimento à interrupção.
- Device_Drivers.h que contem a declaração das funções implementadas em Device_Drivers.c
- CAN.c que contem as funções de configuração e inicialização do protocolo CAN para os dois controladores disponíveis, assim como as rotinas de atendimento à interrupção face à recepção das mensagens.
- CAN.h que contem a declaração das funções implementadas em CAN.c, assim como a estrutura relativo ao *buffer* de mensagens.
- Constantes.h que contem os parâmetros de configuração da cadeira.
- main.c onde são invocadas as funções de inicialização e configuração dos diversos módulos em comunicação do micro controlador.

O ambiente de desenvolvimento utilizado foi o MPLAB, pelo que foi necessário criar um projecto com os ficheiros enumerados anteriormente. Para compilação, foi utilizado o compilador MPLAB C30 e finalmente, para descarregamento dos programas para o micro controlador foi utilizada a ferramenta tinybldwin⁸, que descarrega o programa para o micro controlador via porta série.

⁸disponível em <http://www.etc.ugal.ro/cchiculita/software/picbootloader.htm>

Capítulo 6

Avaliação e Resultados

Neste capítulo são apresentados o tipo de testes efectuados ao sistema bem como os resultados obtidos. Mencionar-se-á também o trabalho elaborado, o que está concluído e o que falta concluir.

6.1 Modos de *Bridging*

Para validação dos respectivos modos de *bridging*, estes foram testados numa primeira fase, sem manipulação das mensagens. Este teste permite verificar que a introdução do módulo de *bridging* não causa perturbações nem desadaptações no barramento, sendo realizado com sucesso. No entanto, a preocupação constante com os *timings* das mensagens, devido ao “escorregamento” que estas poderiam sofrer, e ao impacto que poderia causar no sistema, optou-se por trabalhar com o modo de *bridging time triggered*. Assim, efectuou-se mais alguns testes básicos, mas apenas neste modo.

Um outro teste relativamente simples consistiu em esperar por uma determinada mensagem específica do *joystick*¹, sendo a mesma retransmitida pelo módulo de *bridging* nos sucessivos acontecimentos dessa mensagem. Desta forma, garante-se movimento na cadeira sem a acção de “segurar” o *joystick*. Este teste foi também realizado com sucesso, uma vez que se conseguiu o movimento da cadeira após ter sido enviada a mensagem desejada. A figura 6.1 ilustra o procedimento utilizado para efectuar este teste.

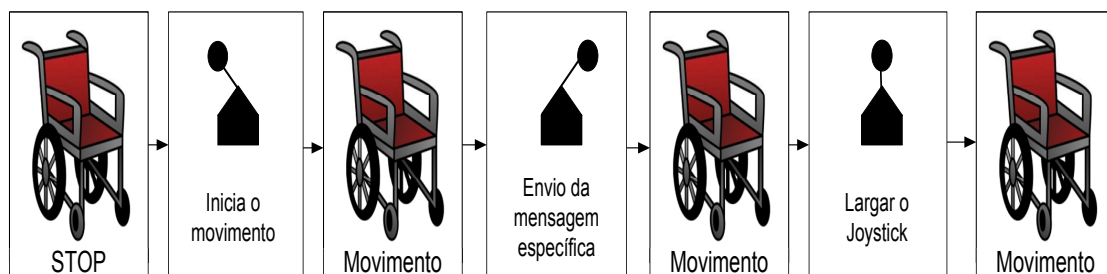


Figura 6.1: Procedimento utilizado para garantir o funcionamento do módulo de *bridging*

Ainda com base no mesmo teste, com a cadeira em movimento e o módulo de *bridging* a

¹Mensagem com ID 0x40, cujo campo de dados “ordene” movimento à cadeira

manipular a mensagem que transmite a acção de movimento à cadeira, desligou-se o *joystick* e não se verificou-se nenhuma alteração no movimento da cadeira.

Isto significa que as mensagens armazenadas nos *buffers* de mensagem do módulo de *bridging* são retransmitidas como esperado², efectuando assim o módulo de *bridging* a comunicação com o módulo de potência. Ainda com a manipulação da mesma mensagem e com a ajuda de um *dip-switch*, efectuou-se uma nova manipulação da mensagem aquando da intervenção do *dip-switch*, alterando desta vez a velocidade da cadeira, ver figura 6.2.

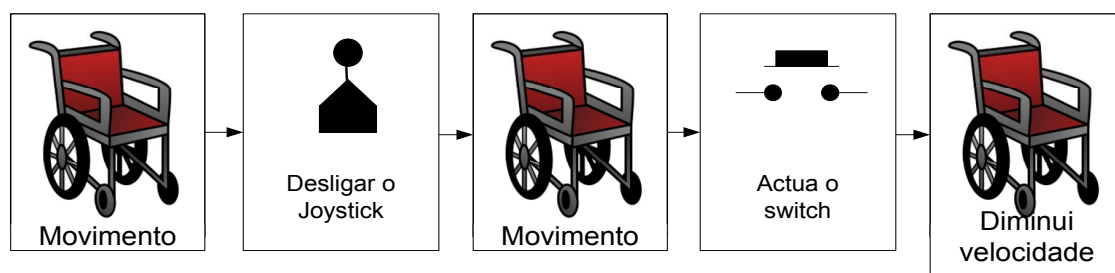


Figura 6.2: Teste ao módulo de *bridging*

Ainda na fase de testes, verificou-se que para colocar a cadeira em funcionamento é necessário que ocorra um conjunto determinado de mensagens com campo de dados específico. Assim, a manipulação das mensagens da cadeira imobilizada, só poderá acontecer depois de ter ocorrido essa sequência de mensagens. Ou seja, após ter ocorrido a última mensagem da sequência, mensagem com ID 0x40, cujo campo de dados transporta a mensagem B0 01 25 03 00 02 00. Como referido em capítulos anteriores, o quinto e o sétimo byte da mensagem transporta a velocidade e posição da cadeira, representado num eixo de coordenadas cartesianas. Desta forma a manipulação do movimento da cadeira parte da manipulação destes dois bytes, após ter ocorrido a sequência de mensagens.

Depois da fase de testes, efectuou-se a implementação do modo LAM. Elaborou-se um ficheiro com as condições e as variáveis que possam ser definidas pelo utilizador. Assim, primeiramente para um determinado tipo de utilizador, que apenas consegue movimentar o *joystick* para a frente, implementou-se a condição de T_{start} , seguido de um arranque suave, que também pode ser facilmente ajustado até atingir a velocidade desejada. Nesta primeira fase, utilizou-se um *dip-switch* para sinalizar as condições da máquina de estados finitos, sabendo que este dispositivo terá de ser alterado, uma vez que o utilizador-alvo da cadeira não possui destreza para operar sobre ele.

Nesta fase apenas 2 botões do *dip-switch* foram utilizados, um que sinaliza a mudança de modo (do modo *Legacy* para o modo LAM) e o outro para efectuar a distinção entre seguir em frente ou mudar de direcção. A mudança de direcção foi também implementada e segue da mesma forma a condição de T_{start} seguido de arranque suave para efectuar a rotação sobre o seu eixo. A condição de paragem segue também uma diminuição suave da velocidade. A figura 6.3 representa o procedimento utilizado para a mudança de direcção.

²Com a ajuda do PCAN-USB, conseguiu-se verificar que com o *joystick* desligado, o módulo de *bridging* envia a mensagem com ID 0x08 para o *joystick*, e as restantes para o módulo de potência, com os períodos desejados.

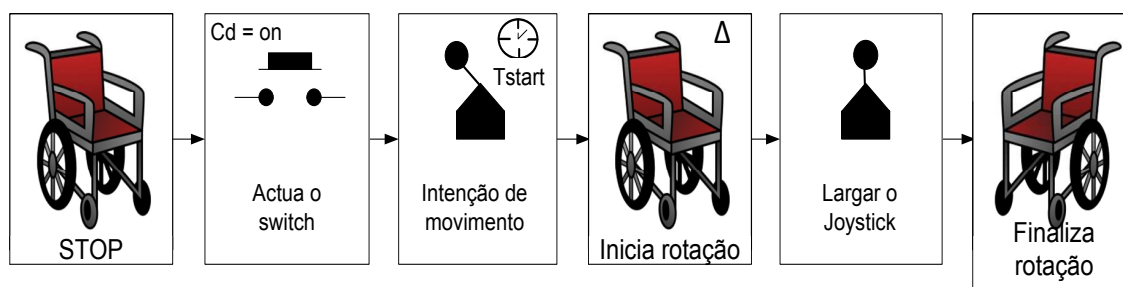


Figura 6.3: Procedimento da realização do movimento de rotação

6.2 Ultra-sons

Na fase de detecção de obstáculos, efectuou-se medições ao longo de toda a gama de alcance dos sensores, obtendo os resultados listados na tabela 6.1

Valor real	Valor medido
10	10
20	21
40	40
60	60
80	81
100	100
120	120
140	139
160	160
180	180
200	200
220	221
240	240
260	262
280	282
300	303
320	321
340	342
360	363
380	380
400	399

Tabela 6.1: Medição da distância ao obstáculo

Através da análise da tabela 6.1, pode-se verificar que possui-se um erro máximo de 3cm, para valores acima dos 3m. No entanto para distâncias curtas, menos de 2m, o erro máximo associado à medição é de apenas 1 cm, pelo que pode ser desprezável. Também foi realizado outro teste, que consiste em efectuar um conjunto de 10 medições e realizar a média entre elas, para que o erro associado à medição da distância seja menor. No entanto, este método

não pode ser utilizado, uma vez que entre cada medição é requerido um intervalo de espera de 50ms, o que corresponde a um tempo dispendido para cada sensor de 500ms. Desta forma, este sensor só irá tornar a efectuar um conjunto novo de medições após 2,5s, o que vai, com certeza, originar um deslizamento da cadeira muito grande, ou seja, a cadeira não se conseguirá imobilizar antes que os *bumpers* de contacto sejam activados³.

³uma vez que num estado de desenvolvimento futuro, este tipo de sensores serão incorporados na cadeira

Capítulo 7

Conclusões e Trabalho Futuro

Neste capítulo é efectuada uma apreciação global do trabalho desenvolvido e apresentadas propostas de trabalho futuro.

7.1 Conclusão

Nesta dissertação, apresentou-se a implementação de uma solução para adaptar uma cadeira de rodas eléctrica comercial para ajudar pessoas tetraplégicas com força reduzida nos braços e mãos e que possuam dificuldades em manusear o *joystick* convencional. A solução apresentada permitirá a este tipo de utilizadores, ser capaz de controlar autonomamente a cadeira de rodas em ambientes interiores. Esta solução implicou a implementação de um novo módulo de *hardware* na cadeira. A solução proposta, intercepção das mensagens no barramento, foi a solução encontrada de mais baixo custo dado que é a menos exigente em termos de *hardware* e *software*. Além disso, é menos intrusiva em termos de alteração ao sistema base já existente.

Através dos resultados obtidos, verificou-se que o módulo de *hardware* não causa desadaptações no barramento nem atrasos na cadência natural das mensagens. Da mesma forma, o novo modelo de operação foi implementado com sucesso, uma vez que as acções que desempenha estão de acordo com o previsto, ou seja, a manipulação das mensagens face a uma ordem instruída no *joystick*. Por exemplo, se o utilizador pretender movimentar-se para a frente, apenas terá de fornecer um toque cuja intenção seja garantir o movimento, que a cadeira movimentar-se-á a partir daí sem a manipulação do *joystick*.

Um dos objectivos não foi finalizado, dotar a cadeira de mecanismos para detectar e evitar obstáculos. O sistema de sensores utilizado consegue efectuar a detecção e determinar a distância aos obstáculos, no entanto faltou a sua integração no modo LAM.

Todo o trabalho desenvolvido, pode ser facilmente adaptado e aplicado a outras cadeiras de rodas comerciais que possuam CAN como o modo de comunicação entre os seus módulos.

7.2 Trabalho Futuro

Este projecto, adaptação de uma cadeira de rodas eléctrica, tem sempre aspectos que podem ser melhorados e/ou acrescentados, pelo que deste ponto de vista, está longe de estar concluído. No entanto, o suporte base para a implementação do modo LAM está praticamente concluído, faltando apenas a integração entre os dois módulos, manipulação das mensagens

e o módulo de percepção do ambiente. O módulo de percepção do ambiente, teve de ser acoplado num outro micro controlador, uma vez que alguns dos recursos do micro controlador responsável pelo módulo de *bridging* estão ocupados para esse efeito. Desta forma sugere-se que a integração entre os dois módulos seja efectuada via SPI (*Serial Peripheral Interface*). Outro ponto interessante seria guardar os parâmetros de configuração da cadeira na EEPROM do micro controlador, efectuando assim uma única programação para o utilizador da cadeira e não uma programação sempre que o módulo seja reiniciado. Do ponto de vista de integração do módulo na cadeira, também seria útil o projecto de uma placa de circuito impressa adequada para o efeito, facilitando assim as ligações, e diminuindo o risco de uma ligação errada que pode causar danos no sistema.

Por fim, o ponto mais fundamental e importante de todo o trabalho realizado, o teste e validação por pessoas tetraplégicas, uma vez que a cadeira é destinada a eles, e só a sua avaliação é decisiva para (re)aprovação de todo o projecto desenvolvido.

Apêndice A

Implementação do Sistema de Ultra-sons

Este apêndice dedica-se à integração dos sensores de ultra-sons na cadeira de rodas eléctrica assistida.

Nesta fase do projecto, decidiu-se utilizar somente os sensores de ultra-sons, sabendo à partida que por si só são ineficientes na detecção de obstáculos, devido às condições já referenciadas anteriormente. No entanto, esta escolha deve-se ao conjunto de vantagens que este tipo de sensores nos remete:

- Baixo custo
- Simplicidade
- Fácil utilização
- Baixo consumo de energia
- Detecção de obstáculos a diferentes distâncias

Apesar do grande número de sensores ou módulos disponíveis comercialmente, já concebidos para o feito de medir distâncias, decidiu-se utilizar o módulo SRF05, representado na figura A.1. Este módulo possui um longo alcance, consegue medir distâncias entre 3cm a 4m. Possui um ângulo de feixe de 45° ¹, o que permite reduzir o número de sensores para detecção de obstáculos, uma vez que se pretende que este projecto seja acessível do ponto de vista económico. No entanto, quanto menor for o ângulo de feixe, maior a precisão na localização do obstáculo. Desta forma, são preferíveis vários sensores com ângulo de feixe reduzido do que apenas um sensor com um grande ângulo de feixe. Com este sensor possui-se a “solução de compromisso”, isto é, não ter apenas um sensor com um ângulo de feixe relativamente grande, devido a tornar o projecto mais acessível do ponto económico, e afectar o sistema de localização, nem utilizar um número significativo de sensores com ângulo de feixe bastante reduzido, tornando o projecto mais dispendioso, ainda que mais exacto.

Apesar do baixo custo, e da sua fácil utilização, este módulo possui ainda dois modos de operação:

¹valor retirado do site do fabricante, <http://www.acroname.com/robotics/info/articles/devantech/srf.html>, que corresponde ao ângulo aproximado do cone do sensor a metade do alcance do sensor

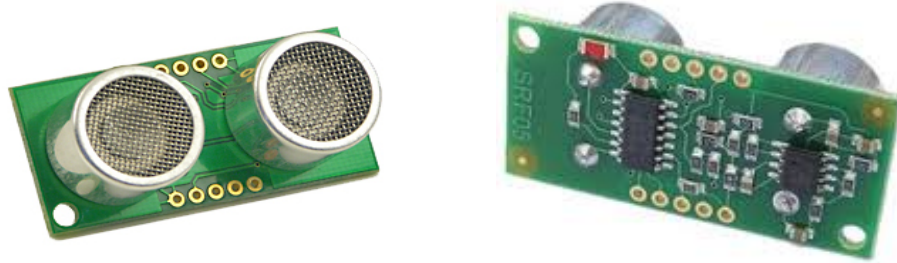


Figura A.1: Módulo SRF05

1. Modo 1 – *Separate Trigger and Echo*
2. Modo 2 – *Single pin for both Trigger and Echo*

O modo 1 utiliza dois pinos, um para o *trigger* e outro para o sinal de eco, além dos pinos de alimentação, enquanto que o modo 2 utiliza apenas um pino para o trigger e para o sinal de eco, ou seja, o sinal de eco surge no mesmo pino que o sinal de trigger.

A.1 Cálculo da Distância

O modo utilizado foi o modo 1, *Separate Trigger and Echo*. O diagrama temporal para este modo está representado na figura A.2, extraída do *datasheet* do SRF05 [Rob10]. Para que a medição da distância se desencadeie, apenas tem-se que fornecer um pequeno pulso de $10\mu\text{s}$ ao pino Trigger input. O SRF05 envia um burst de 8 ciclos de ultra-som a 4KHz e “sobe” a linha de eco enquanto espera pelo sinal de eco. Assim que o sensor detecta o sinal de eco, ele “baixa” a linha de eco. Desta forma, a linha de eco é um pulso cuja largura é proporcional à distância ao objecto. Pelo tempo do pulso é possível determinar o alcance do objecto. Se não for detectado nada, o SRF05 baixa a linha de eco após passar cerca de 30ms.

A medição da distância por parte do módulo SRF05, pode ser desencadeado tão rápido como 50ms, ou 20 vezes em cada segundo. Deve-se esperar sempre 50ms entre medições mesmo que seja detectado um objecto muito próximo que tenha produzido um impulso curto. Isto permite garantir que o sinal emitido se tenha desvanecido e que não causará um falso eco na próxima medição.

A.2 Número de Sensores e Método a Utilizar

Possuindo a cadeira 60cm de largura, utilizar-se-á 5 sensores de ultra-sons (SRF05) para medir a distância ao obstáculo. A disposição dos sensores está representada na figura A.3. Esta disposição permite que a área coberta pelos sensores seja de 75cm, que é superior à largura da cadeira, a uma distância de 18,12cm em frente da cadeira. Desta forma, qualquer obstáculo situado na direcção do movimento da cadeira, a uma distância superior a 18,12cm da cadeira, é detectado pelo sistema de sensores.

A.2. NÚMERO DE SENSORES E MÉTODO A UTILIZAR

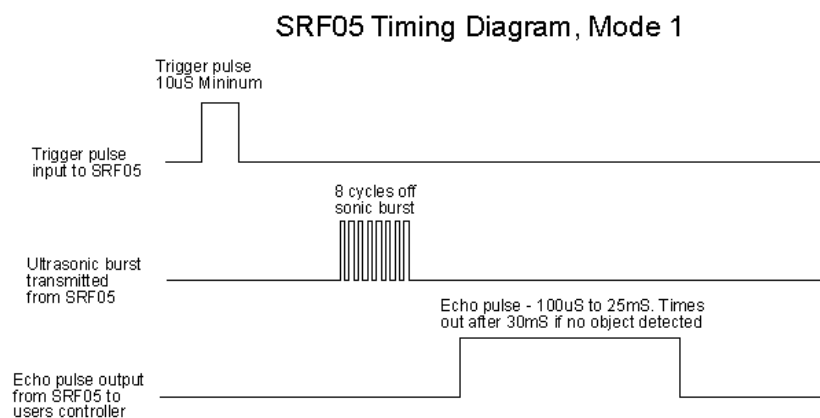


Figura A.2: Diagrama temporal para o primeiro modo de funcionamento

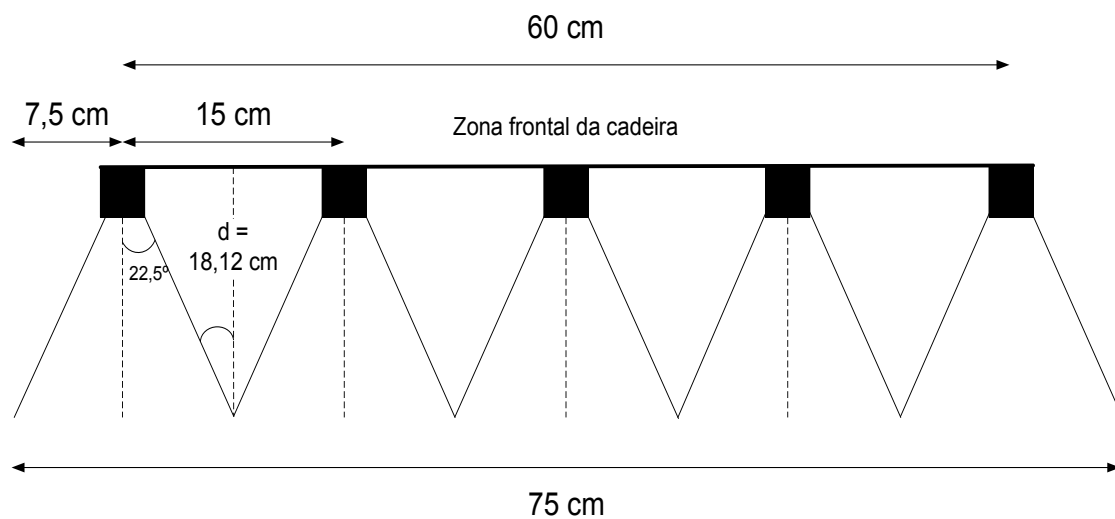


Figura A.3: Disposição dos sensores na cadeira

Uma vez que são 5 sensores para detecção de obstáculos, a leitura entre eles será efectuada de uma forma sequencial, com intervalos entre leituras de 50ms. Este intervalo é uma restrição imposta pelo fabricante para que se garanta uma boa medição da distância, uma vez que um falso eco da medição efectuada pelo sensor anterior pode originar uma falsa medição no sensor que está a operar. Desta forma, cada sensor efectuará uma medição com intervalo de 250ms em relação à sua edição anterior.

Apêndice B

Placa de Desenvolvimento com 2 Controladores CAN

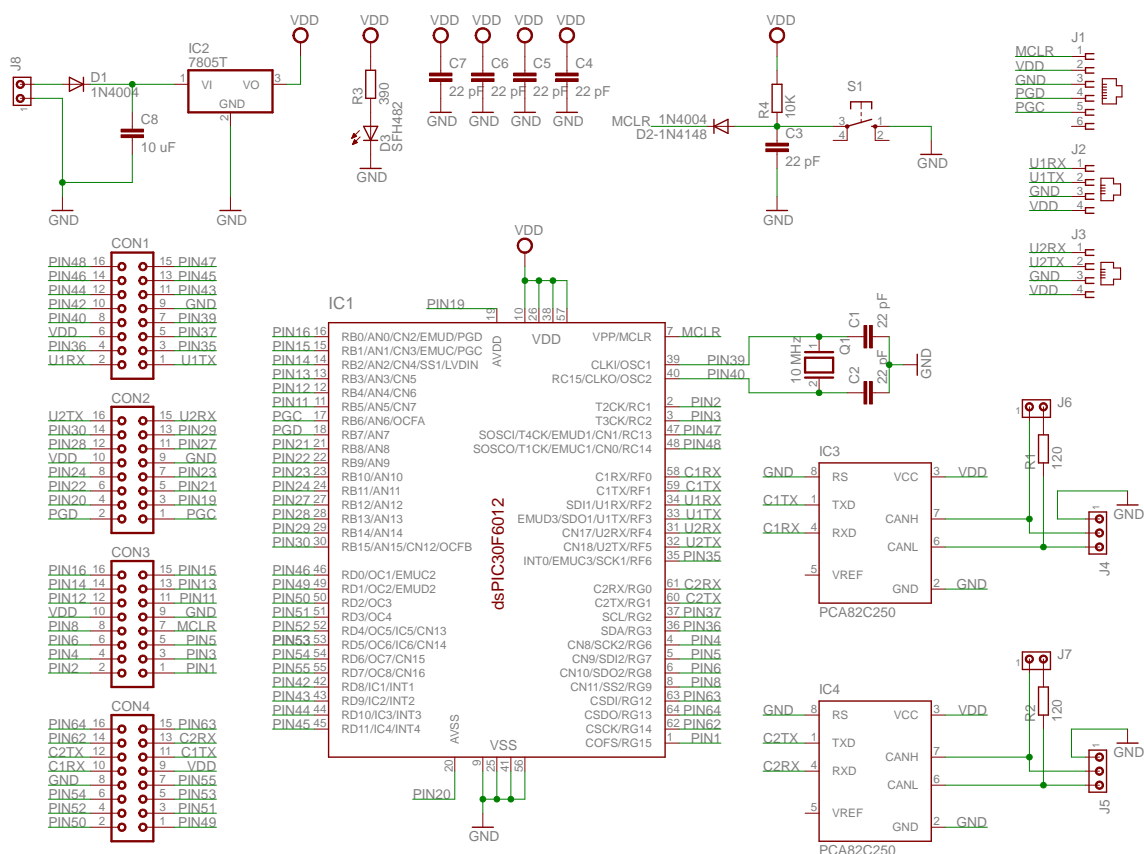


Figura B.1: Esquema eléctrico da placa dsPIC 30F6012a com 2 controladores CAN

Apêndice C

Esquema Eléctrico para Alimentação

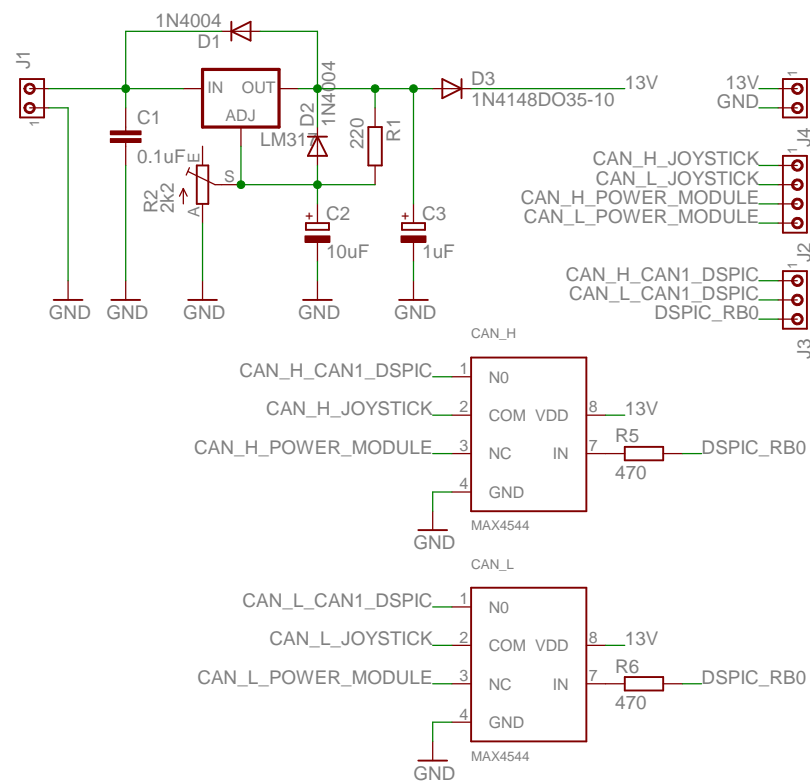
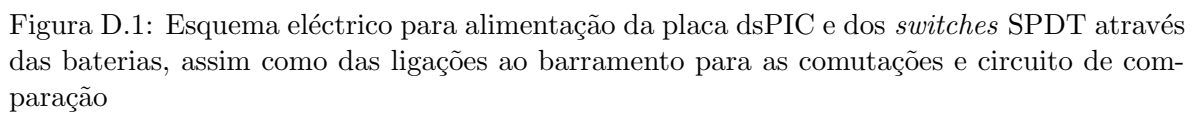


Figura C.1: Esquema eléctrico para alimentação da placa dsPIC e dos *switches* SPDT através das baterias, assim como das ligações ao barramento para as comutações

Esquema Eléctrico para Alimentação com Circuito de Comparação



Bibliografia

- [ACKJF⁺00] Rory A. Cooper, Daniel K. Jones, Shirley Fitzgerald, Michael L. Boninger, and Steven J. Albright. Analysis of position and isometric joysticks for powered wheelchair driving. *IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING*, 47(7):902–910, Jul 2000.
- [ADdRS⁺] C. Amaya, F. Díaz del Río, J.L. Sevillano, G. Jiménez, S. Vicente, and A. Civit Balcells. Schedulability analysis of can based systems with precedence constraints.
- [AY] Holly A. Yanco. Wheellesley, a robotic wheelchair system: Indoor navigation and user interface.
- [BCM⁺07] Matt Bailey, Andrew Chanler, Bruce Maxwell, Mark Micire, Tsui Katherine, and Holly Yanco. Development of vision-based navigation for a robotix wheelchair. *Proceedings of the 2007 IEEE 10th International Conference on Rehabilitation Robotics*, 2007.
- [Con] Dynamic Controls. *Modular powerchair control system*. Dynamic Controls.
- [C.S05] Richard C.Simpson. Smart wheelchairs: A literature review. *Journal of Rehabilitation Research & Development*, 42(4):423–436, Jul/Ago 2005.
- [CSPL99] Richard C. Simpson and Simon P. Levine. Automatic adaptation in the navchair assistive wheelchair navigation system. *IEEE TRANSACTIONS ON REHABILITATION ENGINEERING*, 7(4):452–463, Dec 1999.
- [Dal08] Marco Dalli. Sviluppo di un sistema di controllo basato su odometria per una carrozzina robotica. Master’s thesis, POLITECNICO DI MILANO, 2007–2008.
- [dEeP10] Gabinete de Estratégia e Planeamento. Acidentes de trabalho 2008. <http://www.gep.mtss.gov.pt/estatistica/acidentes/at2008sintese.pdf>, Oct 2010.
- [DRF05] Tilak Dutta and Geoff R. Fernie. Utilization of ultrasound sensors for anti-collision systems of powered wheelchairs. *IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL SYSTEMS AND REHABILITATION ENGINEERING*, 13(1):24–32, Mar 2005.

- [EST10a] INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA. Acidentes de viagem 2001. http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_destaques&DESTAQUESdest_boui=71004&DESTAQUESmodo=2, Oct 2010.
- [EST10b] INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA. Censos 2001 análise de população com deficiência. http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_destaques&DESTAQUESdest_boui=71004&DESTAQUESmodo=2, Oct 2010.
- [EST10c] INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA. Vítimas de acidentes de viagem (n.º) por localização geográfica e tipo de vítima; anual. http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0002132&contexto=bd&selTab=tab2, Oct 2010.
- [FBSB] Mohamed FEZARI, Mounir BOUSBIA-SALAH, and Mouldi BEDDA. Speech and sensor in guiding an electric wheelchair. *IEEE*.
- [FLBS00] Linda Fehr, W.Edwin Langbein, and Steven B. Skaar. Adequacy of power wheelchair control interfaces for persons with severe disabilities: A clinical survey. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 37(3):353–360, May/Jun 2000.
- [FLCSMN] Edmund F. LoPresti, Richard C. Simpson, David Miller, and Illah Nourbakhsh. Evaluation of sensors for a smart wheelchair.
- [FM07] Mohamed Fezari and Badji Mokhtar. Voice and sensors fusion for guiding a wheelchair. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2(1):30–35, 2007.
- [FSB00] A. Fattouh, M. Sahnoun, and G. Bourhis. Force feedback joystick control of a powered wheelchair: Preliminary study. *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 2000.
- [Han10] Handicare. Puma 4 & 6. <http://www.handicare.co.uk/1/Products/Powered-wheelchairs/Outdoor-indoor/Puma-4-6/>, Jul 2010.
- [Inv10] Invacare. Fdx with formula cg powered seating. http://www.invacare.com/cgi-bin/imhqprd/inv_catalog/prod_cat_detail.jsp?s=0&prodID=FDX-CG&catOID=-536891033, Jul 2010.
- [KAD⁺08] Kurt Konolige, Joseph Augenbraun, Nick Donaldson, Charles Fiebig, and Pankaj Shah. A low-cost laser distance sensor. *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2008.
- [KKBT01] Hideo Kitagawa, Tsunemitsu Kobayashi, Tatsuya Beppu, and Kazuhico Terashima. Semi-autonomous obstacles avoidance of omnidirectional wheelchair by joystick impedance control. *Proceedings of the 2001 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2001.
- [LYZH05] Tao Lu, Kui Yuan, Haibing Zhu, and Huosheng Hu. An embedded control system for intelligent wheelchair. *Proceedings of 2005 IEEE*, 2005.

BIBLIOGRAFIA

- [MCGJR⁺02] M. Mazo, J. C. Garcia, F. J. Rodriguez, J. Ureña, J. L. Lázaro, F. Espinosa, and SIAMO research team. Experiences in assisted mobility: the siamo project. *Proceedings of the 2002 IEEE International*, 2002.
- [Mic09] Microchip. dspic30f family reference manual. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70046E.pdf>, Dec 2009.
- [MKT⁺06] Osamu Matsumoto, Kiyoshi Komoriya, Koji Toda, Shigeki Goto, Tsutomu Hatase, and Hideki Nishimura. Autonomous traveling control of the “tao aicle” intelligent wheelchair. *Proceedings of the 2006 IEEE/RSJ*, 2006.
- [PANTA98] Gabriel Pires, Rui Araújo, Urbano Nunes, and A. T.de Almeida. Robchair – a powered wheelchair using a behaviour-based navigation. *AMC*, 1998.
- [PBB05] G. Pacnick, K. Benkic, and B. Brecko. Voice operated intelligent wheelchair – voic. *IEEE ISIE 2005*, 2005.
- [Per10] Permobil. X850 corpus. <http://www.permobil.com/USA/Products/Rehab/X850-Corpus/>, Jul 2010.
- [PLABAJ⁺99] Simon P. Levine, David A. Bell, Lincoln A. Jaros, Richard C. Simpson, Yoram Koren, and Johann Borenstein. The navchair assistive wheelchair navigation system. *IEEE TRANSACTIONS ON REHABILITATION ENGINEERING*, 7(4):443–451, Dec 1999.
- [PNTA98] G. Pires, U. Nunes, and A. T.de Almeida. Robchair – a semi-autonomous wheelchair for disable people. *Proc. 3rd IFAC Symposium on Intelligent Autonomous Vehicles*, 1998.
- [Rob10] Acroname Robotics. Srf05 - ultra-sonic ranger. <http://www.robot-electronics.co.uk/htm/srf05tech.htm>, Sep 2010.
- [SAN⁺] Pedro Sousa, Rui Araújo, Urbano Nunes, Luís Alves, and Ana C.Lopes. Real-time architecture for mobile assistant robots.
- [SS06] Yutaka Satoh and Katsuhico Sakaue. Development of omni-directional stereo vision-based intelligent electric wheelchair. *The 18th International Conference on Pattern Recognition*, 2006.
- [UFNF08] Margarida Urbano, José Fonseca, Urbano Nunes, and Luís Figueiredo. Adaptation of powered wheelchairs for quadriplegic patients with reduced strength. *ETFA 2008 – 13th IEEE Conference on Emerging Technologies & Factory Automation*, 2008.
- [UFNL09] Margarida Urbano, José Fonseca, Urbano Nunes, and Arminda Lopes. A new approach for operating powered wheelchairs by people with severe impairments. *DSAI09*, 2009.
- [ZWX] Tian Zhihong, Xu Wenhui, and Liu Xiuhong. Obstacle avoidance method study of electric wheelchair. *IEEE*.